DATA 4 ITALY s.r.l.
Piazza Eleonora Duse, 2
20122 Milano (MI) - Italia

DATA CENTER LOCALIZZATO NEI TERRITORI COMUNALI DI CORNAREDO E SETTIMO MILANESE (CITTÀ METROPOLITANA DI MILANO)

MASTERPLAN DEFINITIVO

Studio di Impatto Ambientale

TITOLO ELABORATO

Analisi della vulnerabilità e adattamento ai cambiamenti climatici

MAURO DI PRETE
19.12.2024
13:47:33
GMT+02:00

R.8

11/2024	1	0	Prima Emissione	Iride	Data4	Data4
DATA	**ED.**	**REV.**	**DESCRIZIONE**	**REDATTO**	**VERIFICATO**	**APPROVATO**

Istituto per la Ricerca e l'Ingegneria Dell'Ecosostenibilità

CODICE ELABORATO
R.8_Analisi della vulnerabilità e adattamento ai cambiamenti climatici

SCALA
-

FOGLIO
1 di 1

NOME FILE	AMBIENTE SOFTWARE
R.8_Analisi della vulnerabilità e adattamento ai cambiamenti climatici .pdf	Microsoft Word

IL PRESENTE DOCUMENTO E' DI PROPRIETA' ESCLUSIVA. E' VIETATA LA RIPRODUZIONE O COMUNICAZIONE A TERZI DEL CONTENUTO SENZA PREVENTIVA AUTORIZZAZIONE.

Sommario

1 Introduzione 2
1.1 La struttura del documento 2
1.2 Aspetti generali del fenomeno: mitigazione, adattamento e resilienza per i data center 3
2 Analisi di rischio: caratterizzazione degli Hazards e delle vulnerabilità ai cambiamenti climatici 5
2.1 Definizione della metodologia di analisi 5
2.2 Definizione del contesto di analisi: ambito territoriale 7
2.3 Evoluzione climatica ed identificazione degli hazards climatici nazionali 12
2.3.1 Evoluzione climatica nazionale 12
2.3.2 Analisi del clima sul periodo di riferimento (1981-2010) 22
2.3.3 Variazioni climatiche attese (2036-2065) 26
2.3.4 Sintesi degli Hazards e valutazione della probabilità 34
2.4 Identificazione delle possibili vulnerabilità del contesto territoriale e dell'opera di interesse 37
2.4.1 Temperature 38
2.4.2 Venti 39
2.4.3 Acque 40
2.4.4 Massa solida 41
2.5 Valutazione del Rischio 42
2.5.1 Temperature 42
2.5.2 Venti 43
2.5.3 Acque 43
2.5.4 Massa solida 43
2.6 Sintesi dell'incrocio probabilità – vulnerabilità - rischio e strategie progettuali 44

1 Introduzione

1.1 La struttura del documento

Il presente documento è volto ad analizzare le minacce legate ai cambiamenti climatici e determinare le vulnerabilità del progetto del Data Center, come indicato dalle "Linee guida per le procedure di valutazione ambientale dei data center", adottate dal MASE in data 02/08/2024.

Senza voler entrare nel dettaglio delle analisi propriamente legate alla mitigazione degli impatti negativi dovuti al clima ma perseguendo gli obiettivi di sostenibilità finalizzati alla resa adattiva e resiliente dell'opera in esame, gli aspetti trattativi nella presente relazione mirano a valutare i rischi legati alla crisi climatica analizzando le condizioni di maggior vulnerabilità, gli elementi di valore ambientale e le situazioni territoriali che possono essere favorevoli per l'opera, gli esiti della valutazione degli effetti sull'ambiente e il relativo monitoraggio.

Il documento è quindi strutturato in due parti:

- la prima parte introduttiva legata alla definizione degli obiettivi di sostenibilità con particolare riferimento agli obiettivi legati all'adattamento ai cambiamenti climatici, nell'ottica di rendere l'opera maggiormente resiliente;
- la seconda parte è riferita all'analisi di rischio correlata agli hazards climatici, sviluppata anch'essa in tre sottoparti:
    - definizione degli hazards ed analisi probabilistica in relazione alle proiezioni climatiche;
    - definizione delle vulnerabilità agli hazards climatici;
    - definizione del rischio agli hazards climatici.

1.2 Aspetti generali del fenomeno: mitigazione, adattamento e resilienza per i data center

È un dato acquisito che il modello di sviluppo della civiltà moderna ha da tempo mostrato i suoi limiti determinando, da un lato, l'impoverimento delle risorse primarie e dall'altro, contribuendo all'inquinamento ambientale ed al cambiamento del clima planetario.

Il manifestarsi di fenomeni climatici sempre più estremi, sono la risposta di un incontrollabile surriscaldamento globale universalmente noto come "greenhouse effect": il fenomeno che consente alle radiazioni solari ad onda corta di attraversare l'atmosfera terrestre impedendo la fuoriuscita di radiazioni a onda più lunga.

Le metropoli, le città e l'insieme delle infrastrutture necessarie, soprattutto se sviluppate secondo modelli tradizionali non rivolti alla sostenibilità, risultano essere fonti significative di emissioni di gas a effetto serra e aree fortemente vulnerabili agli impatti della *climate crisis*.

La città contemporanea e l'insieme delle relazioni complesse che la compongono, è oggi investita da crescenti cambiamenti che, soprattutto considerandone l'effetto cumulativo, stanno compromettendo da un lato gli assetti consolidati delle aree urbane e dall'altro, gli stili di vita delle comunità insediate. I sistemi urbani, infatti, affrontano oggi una serie di eventi estremi che sono effetto, da un lato del fenomeno in atto a scala globale del cambiamento climatico, dall'altro delle intense dinamiche di crescita e concentrazione demografica che rendono i territori più fragili e frammentati.

Gli effetti del cambiamento climatico sono per l'appunto, un prodotto complesso della più alta intensità e frequenza dei fenomeni metereologici estremi e di una complessiva maggiore vulnerabilità a tali fenomeni dei sistemi territoriali.

Per quanto riguarda gli edifici, l'edilizia è uno dei settori responsabili di un'importante quantità di emissioni in atmosfera e di un eccessivo consumo energetico. Infatti, considerando tutte le fasi del ciclo di vita dell'edificio, dall'estrazione delle materie prime e la realizzazione dei materiali fino alla sua demolizione, si consumano risorse ed energia. Pertanto, considerando l'intero ciclo di vita dell'edificio, emerge l'importanza di ridurre l'impatto ambientale fin dal principio, ovvero dalla produzione dei materiali con cui è costruito.

Una possibile soluzione a tale questione è la scelta di materiali naturali prodotti secondo processi rispettosi dell'ambiente e provenienti dal territorio locale, oppure l'utilizzo di materiali riciclati, provenienti dal trattamento di rifiuti edili, legno, vetro e plastica.

Inoltre, ad oggi sono disponibili materiali, detti "mangia smog", quali pitture, cementi o pannelli con proprietà fotocatalitiche, ossia che, irradiati dalla luce, ossidano le sostanze tossiche che si depositano sugli edifici (PM10, ossidi e biossidi di azoto, aromatici policondensati, benzene, ossido di carbonio) e le trasformano in composti non tossici. Ciò permette di eliminare gli inquinanti presenti in atmosfera e quindi di ridurre la quantità di smog presente nell'aria.

Nello specifico, i data center sono edifici che ospitano l'infrastruttura IT, costituita da componenti quali hardware e software, per l'archiviazione e la gestione di grandi quantità di dati. Per mantenere i data center in funzione in modo sicuro ed efficiente sono necessari un monitoraggio e una gestione continui, soprattutto per mantenere la giusta temperatura.

La resilienza dei data center può quindi essere definita come la capacità di mantenere la continuità dei sistemi di alimentazione, fondamentale per il funzionamento dell'opera stessa, ossia la capacità di resistere e riprendersi da disturbi esterni causati dall'attuale variabilità climatica e dai futuri cambiamenti climatici, inclusi eventi a lenta insorgenza ed effetti di maggiore frequenza e intensità di eventi estremi.

È quindi necessario ripensare strategie di adattamento ai rischi legati al clima al fine di rendere resilienti e proteggere tali opere e, dunque, garantirne la continuità dei servizi e delle operazioni da essi svolti.

Costruire la resilienza ai cambiamenti climatici mentre si fa fronte a una crescita significativa e continua delle esigenze di elaborazione e archiviazione di dati è una doppia sfida. Pertanto, queste due questioni non dovrebbero essere affrontate isolatamente, ma in parallelo.

In particolare, è importante notare che lo sviluppo della resilienza ai cambiamenti climatici come parte dei continui miglioramenti operativi e infrastrutturali può essere il modo più efficiente ed economico per raggiungere questo obiettivo.

Secondo il progetto in esame, la resilienza climatica è vista come parte integrante di ciò, nel rispetto della sostenibilità ambientale e territoriale.

Nei paragrafi successivi sarà quindi esplicitata detta analisi, evidenziando le vulnerabilità dell'opera di progetto in relazione agli *hazards* climatici.

2 Analisi di rischio: caratterizzazione degli Hazards e delle vulnerabilità ai cambiamenti climatici

2.1 Definizione della metodologia di analisi

Come espresso nei precedenti paragrafi, obiettivo della presente relazione è la definizione dei livelli di rischio associati al fenomeno dei cambiamenti climatici.
A livello teorico-concettuale, il rischio può essere valutato come la produttoria di una probabilità per una vulnerabilità, in relazione ad uno specifico "hazards" o pericolo che si vuole analizzare. Nella logica della presente analisi occorre, in prima istanza definire quali sono gli hazards da considerare, correlati al cambiamento climatico.

A tal fine, come meglio espresso nel proseguo della presente trattazione, si è fatto riferimento al Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici, il quale fornisce gli scenari evolutivi dei principali parametri meteoclimatici sul territorio nazionale.

A valle di detta analisi sono quindi stati definiti gli hazards di riferimento climatico, in relazione alle indicazioni derivanti dalla Tassonomia Europea. Una volta definiti gli Hazards climatici si valuta la probabilità di accadimento di detti hazards sul territorio specifico e parallelamente si valuta la vulnerabilità dell'opera (come caratteristica intrinseca della stessa) a detti Hazards.

Tale processo permette quindi di effettuare una stima qualitativa del Rischio agli Hazards da Cambiamento Climatico a cui è soggetta l'opera.

Ultimo step dell'analisi è quindi l'individuazione di misure di mitigazione e adattamento ai cambiamenti climatici che intervengono al fine di mitigare il rischio, suddivise nelle tre classi, green, grey e soft.

Di seguito si riporta un flow chart della metodologia sopra rappresentata e dettagliata nei paragrafi successivi.

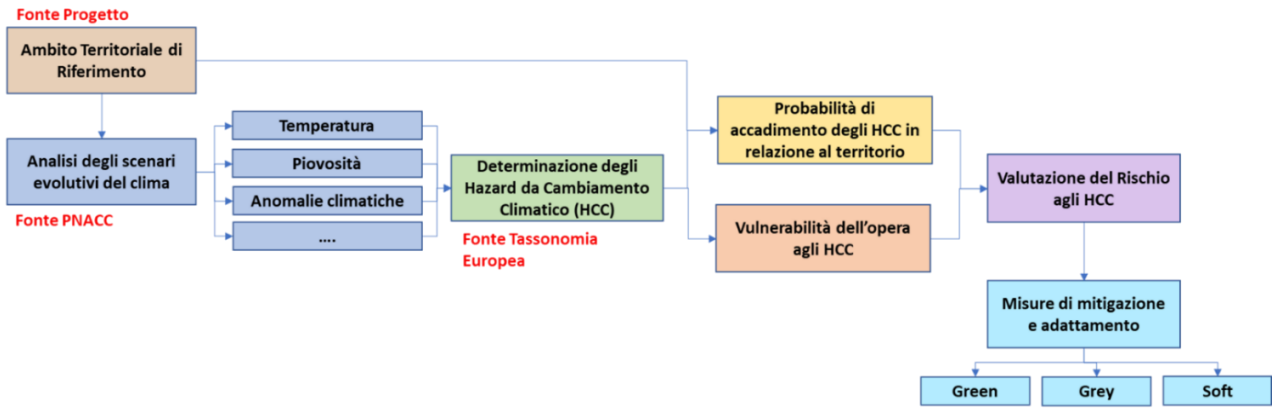

Figura 2-1 Flow chart metodologico

La metodologia prevede l'attribuzione quindi dei seguenti livelli di probabilità e della vulnerabilità.

Alto
Medio
Basso

Tabella 2-1 Livelli di valutazione della probabilità e della vulnerabilità

Per la valutazione del rischio si è fatto riferimento ad una matrice di calcolo che incrocia i dati di vulnerabilità con quelli di probabilità secondo lo schema di cui alla Tabella 2-2.

LEGENDA				
Rischio		**Vulnerabilità**		
		Basso	Medio	Alto
Probabilità	Basso	Basso	Basso	Intermedio
	Medio	Basso	Intermedio	Elevato
	Alto	Intermedio	Elevato	Molto Elevato

Tabella 2-2 Matrice di valutazione del rischio

2.2 Definizione del contesto di analisi: ambito territoriale

L'area in esame in cui ricade il progetto del Data 4 rientra nel territorio della provincia di Milano, in particolare nei Comuni di Settimo Milanese e Cornaredo (cfr. Figura 2-2).

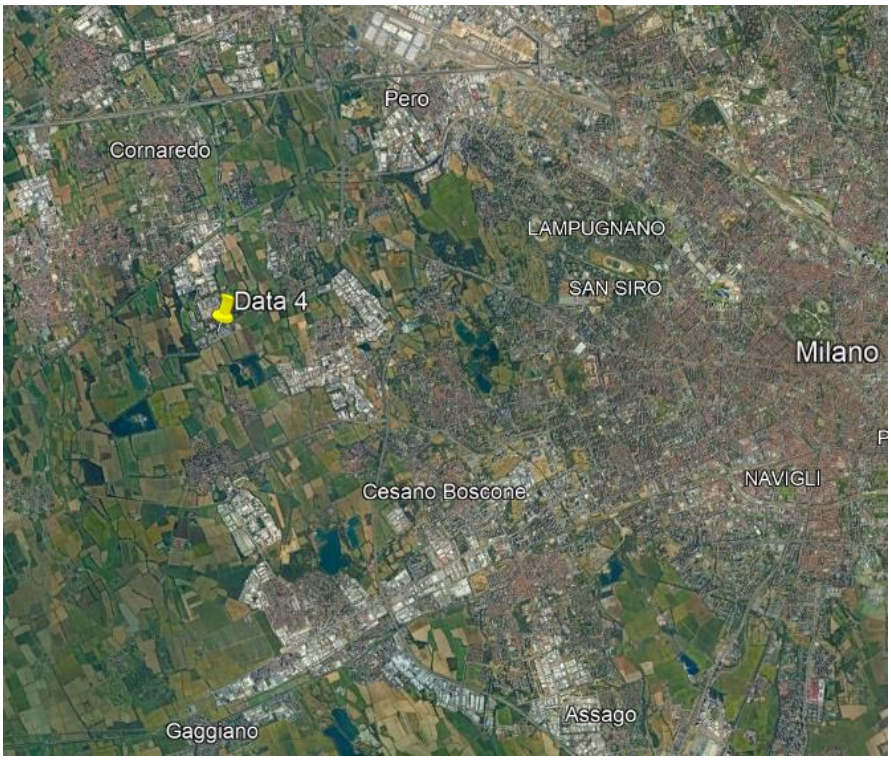

Figura 2-2 Localizzazione progetto

Dal punto di vista geologico, i Comuni di Settimo Milanese e Cornaredo sono ubicati nella Pianura Padana centro-settentrionale, caratterizzata da terreni alluvionali e fluvioglaciali i quali, molto più a Nord rispetto al territorio comunale in oggetto, raccordano la Pianura alle Prealpi.
In riferimento alla cartografia ufficiale, in particolare alla Carta Geologica d'Italia (Carta Geologica d'Italia al Foglio n.° 45 "Milano") e alla Carta Geologica della Lombardia, la formazione litologica che caratterizza il territorio comunale prende il nome di "Fluvioglaciale rissiano-wurmiano" o "Diluvium Recente". I terreni appartenenti a tale unità sono terreni di tipo alluvionale e fluvioglaciale costituiti da depositi di natura ghiaioso-sabbioso-argillosa e caratterizzati spesso, nella loro parte sommitale, dalla presenza di uno strato superficiale di alterazione dello spessore di circa 0,5 m di natura argilloso-sabbiosa di colore bruno-rossastro, dovuto ai processi di humificazione del substrato stesso.
La successione stratigrafica è costituita, a scala comunale, da materiali ghiaioso-sabbiosi immersi in una matrice limoso-argillosa alternati a livelli a granulometria più grossolana (cfr. Figura 2-3).

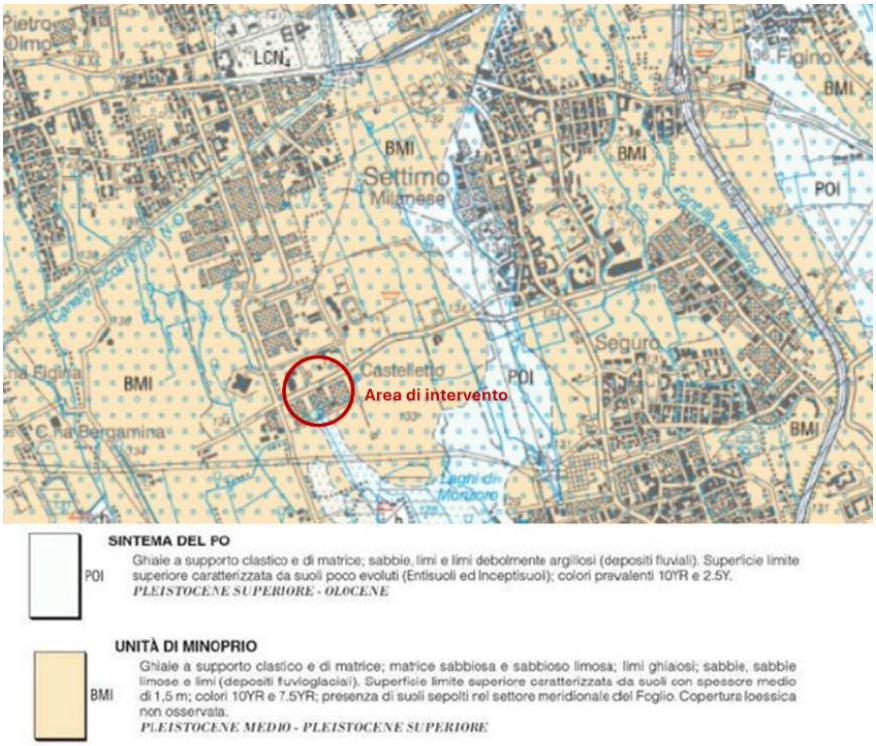
LCN
BMI
Settimo
Milanese
BMI
Figino
BMI
POI
Castelletto
Area di intervento
POI
Seguro
BMI
BMI
C.na Bergamina
SINTEMA DEL PO
POI
Ghiaie a supporto clastico e di matrice; sabbie, limi e limi debolmente argillosi (depositi fluviali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli poco evoluti (Entisuoli ed Inceptisuoli); colori prevalenti 10YR e 2.5Y.
PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE
UNITÀ DI MINOPRIO
BMI
Ghiaie a supporto clastico e di matrice; matrice sabbiosa e sabbioso limosa; limi ghiaiosi; sabbie, sabbie limose e limi (depositi fluvioglaciali). Superficie limite superiore caratterizzata da suoli con spessore medio di 1,5 m; colori 10YR e 7.5YR; presenza di suoli sepolti nel settore meridionale del Foglio. Copertura loessica non osservata.
PLEISTOCENE MEDIO - PLEISTOCENE SUPERIORE

Figura 2-3 Stralcio Carta Geologica d'Italia Foglio n.° 45 "Milano"

Dal punto di vista geomorfologico, il territorio di interesse è collocato nella media Pianura lombarda a Ovest dell'area milanese; in particolare l'area in esame risulta ubicata nei pressi della zona industriale in Località Castelletto a Sud Ovest dell'agglomerato urbano di Settimo Milanese, ad una quota topografica pari a 134,0 - 135,0 m s.l.m.

La verifica dello stato di dissesto idrogeologico nell'area di studio è stata svolta prendendo in considerazione il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dell'Autorità di Bacino del Fiume Po e il Piano di Gestione del Rischio Alluvione (PRGA) del Distretto Idrografico Padano. Analizzando gli areali individuati da tali strumenti di pianificazione risulta che gli interventi in progetto non ricadono nelle aree in dissesto idrogeologico né in quelle a rischio idrogeologico molto elevato individuate dal PAI, né nelle aree di pericolosità legata alla frequenza di alluvioni e nelle aree di rischio, come individuate dalle più recenti mappe incluse nel PRGA (cfr. Figura 2-4).
Nella seguente figura viene mostrato uno stralcio della carta della pericolosità e del rischio idraulico, tratto dalla piattaforma IdroGEO per l'area di interesse, in cui si osserva che l'area interessata dal progetto non ricade in zone a pericolosità/ rischio di frane o alluvioni.

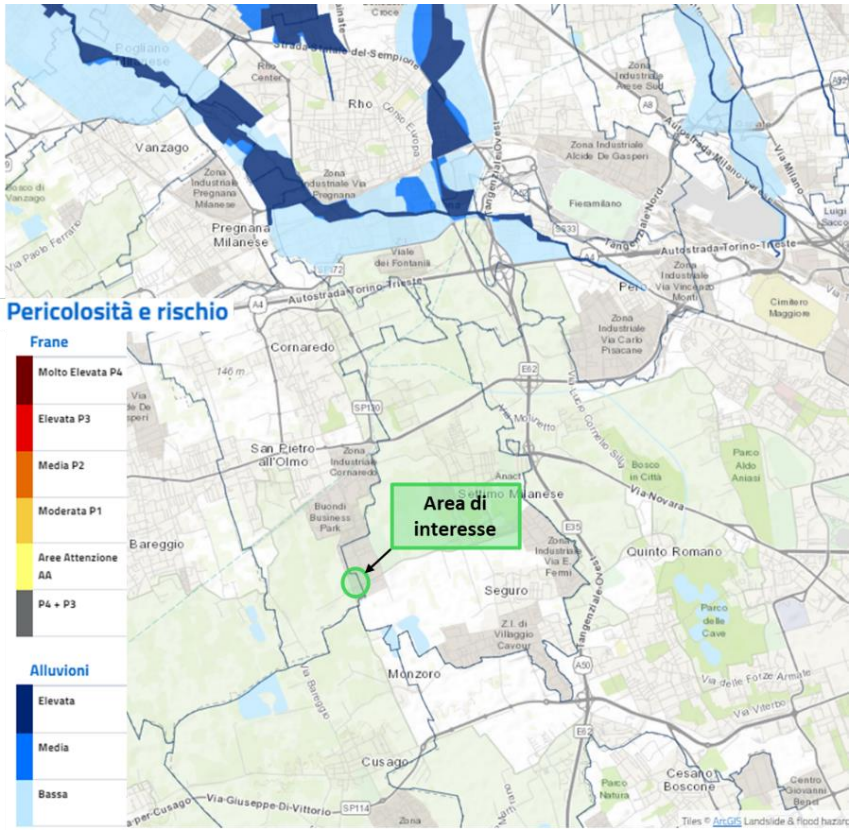

Figura 2-4 Stralcio della pericolosità e del rischio IdroGEO[1]

Allo scopo di caratterizzare l'area di interesse anche dal punto di vista meteoclimatico, è stato preso come riferimento il documento "Il clima in Italia nel 2023", redatto a luglio 2024 da SNPA, grazie al quale è stato possibile valutare le temperature e le precipitazioni medie annue registrate nell'anno 2023 relative all'intero territorio nazionale.

Per quanto riguarda il territorio regionale della Regione Lombardia, le temperature medie annue registrate si attestano tra i 0 ed i 16 °C; in particolare, in prossimità della provincia di Milano sono state intorno ai 16 °C, come si osserva in Figura 2-5.

[1] https://idrogeo.isprambiente.it/app/pir/c/58091?@=45.48773869458125,9.159382192521615,10

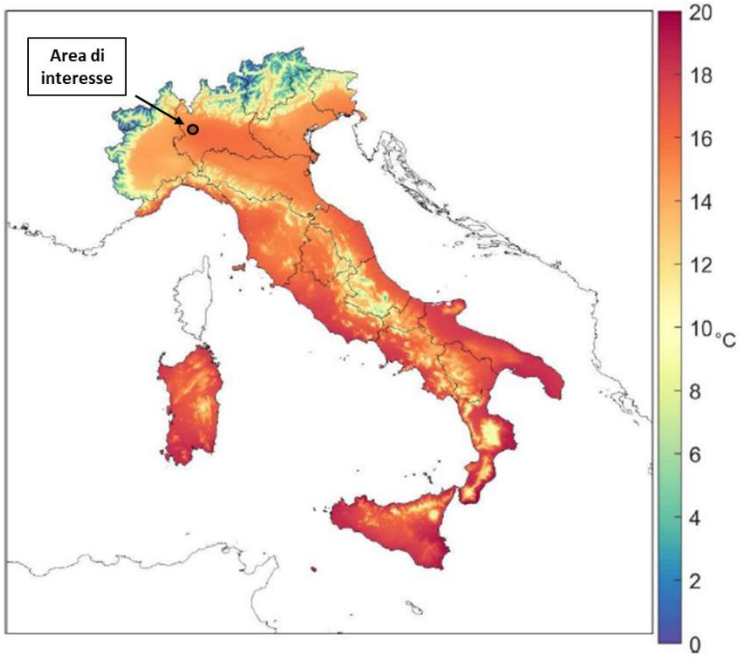

Figura 2-5 Temperatura media annua – Anno 2023 (Fonte: documento "Il clima in Italia nel 2023")

La Figura 2-6 mostra la mappa delle precipitazioni cumulate registrate nel 2023; come si può osservare, in Lombardia sono stati registrati valori compresi circa tra 500 e 2500 mm. Per quanto riguarda la zona di Milano, i valori delle precipitazioni cumulate sono risultati essere intorno ai 500 – 1000 mm.

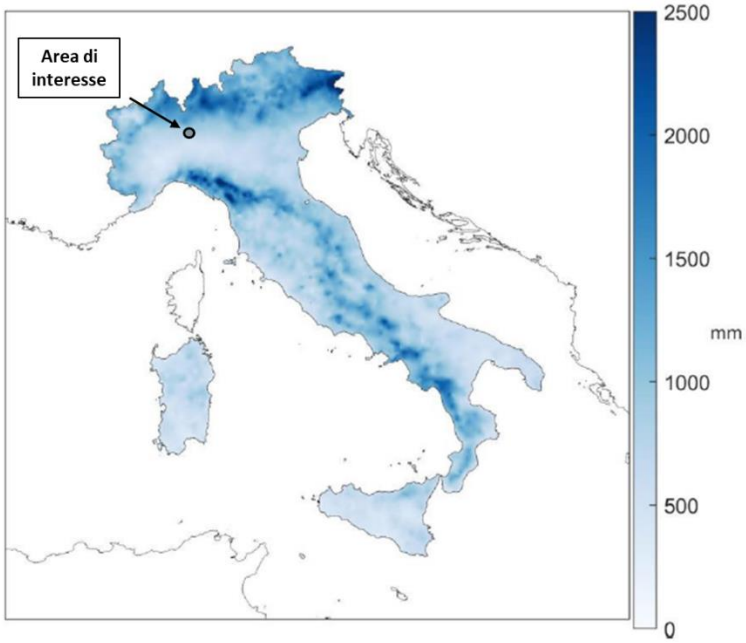

Figura 2-6 Precipitazione cumulata annua – Anno 2023 (Fonte: documento "Il clima in Italia nel 2023")

Nella seguente figura, a sinistra, sono mostrate le precipitazioni massime giornaliere registrate nel 2023, ossia il valore massimo delle precipitazioni cumulate su intervalli fissi dalle ore 0 alle ore 24 e non quello su tutti gli intervalli di 24 ore a orario mobile, che può evidentemente essere maggiore. Va inoltre tenuto

presente che i valori interpolati sul grigliato regolare e spazializzati su mappa sono generalmente inferiori ai massimi registrati dalle singole stazioni.

In particolare, per quanto riguarda la regione Lombardia i valori sono compresi tra 50 e 200 mm, con i valori più bassi nel sud-ovest della regione.

In Figura 2-7 sono rappresentati anche i valori del numero di giorni asciutti, ossia caratterizzati da una precipitazione inferiore a 1 mm. In Lombardia tali valori risultano essere maggiori nel sud della regione, in cui si raggiungono i 300 giorni, rispetto al nord, dove invece sono intorno ai 250 giorni.

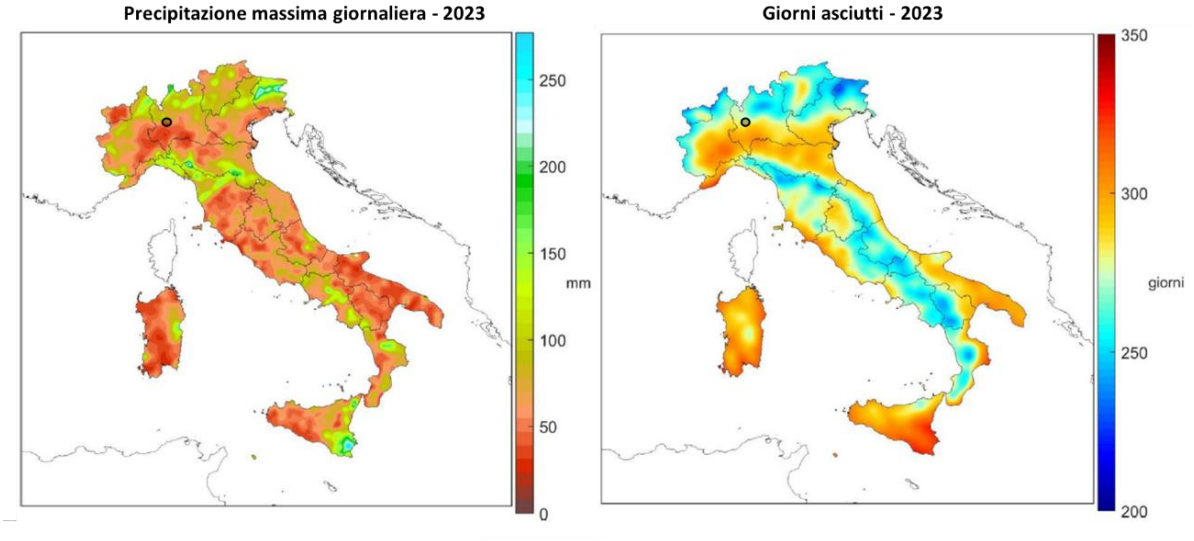

Figura 2-7 Precipitazione massima giornaliera e giorni asciutti – Anno 2023 (Fonte: documento "Il clima in Italia nel 2023")

Nella Figura 2-8 sono rappresentati i valori dell'indice di siccità CDD, il "Consecutive Dry Days", che rappresenta il numero massimo di giorni consecutivi nell'anno con precipitazione giornaliera inferiore o uguale a 1 mm. Nell'area di interesse si registrano valori tra i 30 e i 40 giorni.

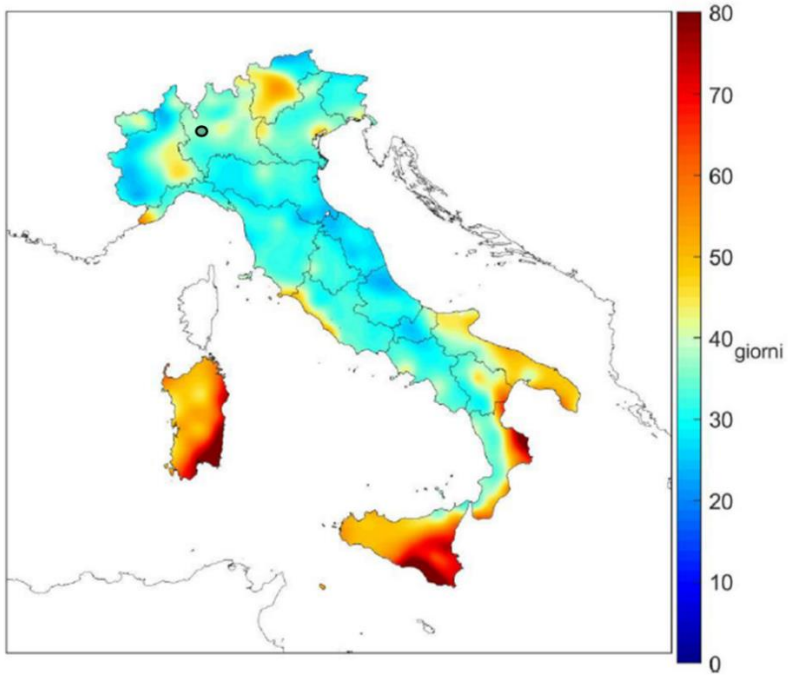

Figura 2-8 Indice di siccità (Consecutive Dry Days - CDD) – Anno 2023 (Fonte: documento "Il clima in Italia nel 2023")

2.3 Evoluzione climatica ed identificazione degli hazards climatici nazionali

2.3.1 Evoluzione climatica nazionale

La presente sezione si avvale degli studi condotti dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica in riferimento al "Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici" (PNACC) approvato con decreto n. 434 del 21 dicembre 2023[2].

Tale versione del Piano aggiorna la precedente accogliendo le osservazioni pervenute dalla Sottocommissione VAS, anche tenendo conto delle osservazioni specifiche degli SCA, per la parte relativa allo stato attuale del clima e alle proiezioni climatiche future.

Nello specifico, al fine di supportare la mappatura delle criticità ambientali e delle specificità del contesto a scala regionale e locale con un numero maggiore di informazioni, sono stati considerati 27 indicatori climatici (cfr. Tabella 2-3) messi in relazione con determinati pericoli; in precedenza l'analisi era basata su 10 indicatori.

Inoltre, in considerazione delle osservazioni pervenute relativamente alla non adeguatezza dell'analisi macroregionale, è stata aggiornata l'analisi climatica in modo tale da non prevedere alcun tipo di accorpamento per zone omogenee.

Per le proiezioni future è stato elaborato un quadro climatico basato su un insieme di diversi modelli climatici prodotti dalla comunità scientifica internazionale che ha anche permesso di includere nel documento una valutazione dell'incertezza per i diversi indicatori climatici considerati.

[2] https://www.mase.gov.it/sites/default/files/PNACC_DOCUMENTO_DI_PIANO.pdf

Il quadro climatico nazionale riporta l'analisi del clima sul periodo di riferimento 1981-2010 e le variazioni climatiche attese sul trentennio centrato sull'anno 2050 (2036-2065), rispetto allo stesso periodo 1981-2010, considerando i tre scenari IPCC: RCP8.5 "Business as usual", RCP4.5 "Forte mitigazione", RCP2.6 "Mitigazione aggressiva".

Per il clima sul periodo di riferimento è stato utilizzato il dataset grigliato di osservazioni E-OBS (Cornes et al., 2018[3]; Haylock et al., 2008[4]) versione 25[5] alla risoluzione di circa 12 km, mentre le variazioni climatiche attese sono state ottenute a partire da un insieme di modelli climatici disponibili nell'ambito del programma EURO-CORDEX (Hennemuth et al., 2017[6]; Jacob et al., 2020[7]) alla maggior risoluzione disponibile (circa 12 km)[8]. Come riferimento, è stato utilizzato il periodo 1981-2010 in quanto le simulazioni relative allo scenario IPCC "historical experiment" sono disponibili fino al 2005. Per la stima delle variazioni future il periodo di riferimento è stato quindi ottenuto utilizzando le simulazioni "historical experiment" per il periodo 1981-2005, e i dati basati sullo scenario IPCC RCP4.5 per il periodo 2006-2010. Pertanto, anche per l'analisi del clima osservato si è considerato il periodo 1981-2010.

Il cambiamento climatico induce variazioni complesse delle caratteristiche del clima su diverse scale spaziali e temporali, in quanto influenza sia la frequenza, l'intensità, l'estensione spaziale, la durata degli eventi meteorologici estremi, sia fenomeni come l'innalzamento del livello del mare, che interessano scale spazio-temporali più ampie[9]. Quando tali variazioni delle diverse caratteristiche del clima assumono un'entità tale da poter causare degli impatti negativi sui sistemi ambientali e socioeconomici, vengono tipicamente definiti "pericoli climatici". Pertanto, il pericolo climatico costituisce un elemento fondamentale per lo studio e la valutazione del rischio climatico. In particolare, comprendere le caratteristiche del pericolo climatico (che possono essere controintuitive e complesse) è fondamentale per una corretta e adeguata definizione delle strategie di adattamento[10].

Nello specifico, per caratterizzare l'evoluzione spaziale e temporale del pericolo climatico, vengono solitamente utilizzati indicatori climatici che descrivono specifici aspetti del clima (sia in termini di valori medi che in termini di estremi) ritenuti rilevanti per lo studio degli impatti di interesse per il territorio nazionale. Tuttavia, è importante rilevare che gli indicatori climatici possono avere un contenuto informativo differente a seconda della dinamica di interesse ma restano un metodo speditivo che non può sostituire l'analisi degli impatti tramite l'adozione di modelli fisicamente basati (EEA 2009[11]; EEA 2018[12]; EEA 2019[13]).

[3] Cornes, R.; van der Schrier, G.; van den Besselaar, E.J.M.; Jones, P.D. An ensemble version of the E-OBS temperature and precipitation datasets. J. Geophys. Res. Atmos. 2018, 123, 9391–9409, doi: 10.1029/2017JD028200

[4] Haylock, M.R.; Hofstra, N.; Klein Tank, A.M.G.; Klok, E.J.; Jones, P.D.; New, M. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. J. Geophys. Res. Atm. 2008, 113, doi: 10.1029/2008jd010201

[5] La versione 25 utilizzata è quella attualmente disponibile sulla piattaforma C3S di Copernicus (https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/insitu-gridded-observations-europe?tab=overview)

[6] Hennemuth, Tamás Illy, et al. "Guidance for EURO-CORDEX climate projections data use." Version1. 0-2017.08. Retrieved on 6 (2017): 2019.

[7] Jacob, D., Teichmann, C., Sobolowski, S. et al. regional climate downscaling over Europe: perspectives from the EURO-CORDEX community. Reg Environ Change 20, 51 (2020). https://doi.org/10.1007/s10113-020-01606-9

[8] Tra i diversi modelli disponibili nel programma EURO-CORDEX alla risoluzione di 12 km sono stati selezionati quelli attualmente disponibili per la consultazione sulla piattaforma C3S di Copernicus (https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/projections-cordex-domains-single-levels?tab=overview)

[9] https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/SREX-Chap3_FINAL-1.pdf

[10] https://www.ipcc.ch/report/managing-the-risks-of-extreme-events-and-disasters-to-advance-climate-change-adaptation/

[11] European Environmental Agency (EEA): Regional Climate Change and Adaptation: The Alps Facing the Challenge of Changing Water Resources. https://www.eea.europa.eu/publications/alps-climate-change-and-adaptation-2009, 2009

[12] European Environment Agency (EEA): National climate change vulnerability and risk assessments in Europe, EEA Report No 1/2018. https://www.eea.europa.eu/publications/national-climate-change-vulnerability-2018, 2018

La valutazione dei 27 indicatori climatici considerati (due dei quali relativi all'area marino-costiera, SST e SSH) rappresenta un primo passo per individuare priorità e strategie di intervento a livello di aree geografiche nazionali.

Per ciascun indicatore sono state riportate le seguenti informazioni:

- la definizione dell'indicatore climatico;
- le variabili atmosferiche su cui si basa;
- le unità di misura dell'indicatore e della sua variazione;
- la scala temporale su cui l'indicatore è valutato (stagionale/annuale);
- i riferimenti bibliografici da cui è stata derivata la definizione dell'indicatore;
- il pericolo climatico (differenziato dai diversi colori nella tabella sotto) al quale l'indicatore è correlato, sulla base di quanto elaborato da studi analoghi disponibili in letteratura;
- il settore principalmente e potenzialmente interessato dal suddetto pericolo climatico.

Tali indicatori, riportati in Tabella 2-3, sono stati calcolati sia in termini assoluti, come valori medi sul periodo di riferimento (cfr. paragrafo 2.3.2), che in termini di variazione tra il periodo futuro selezionato e quello di riferimento (cfr. paragrafo 2.3.3), utilizzando differenti scenari di concentrazione e molteplici modelli climatici.

Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC							
Acronimo, definizione indicatore climatico	**Variabili fondamentali**	**Unità di misura dell'indicatore**	**Unità di misura della variazione climatica (scenario)**	**Scala temporale**	**Reference**	**Pericolo climatico/Proxy**	**Settore**
Temperatura Media (TG): media della temperatura media giornaliera	T	°C	+ - °C	stagionale/ annuale		Aumento delle temperature	
WD: *Giorni caldi - secchi* - Numero di giorni con temperatura media giornaliera maggiore del 75° percentile della temperatura media giornaliera e con precipitazione giornaliera minore del 25° percentile della precipitazione giornaliera.	T - Prec	giorni	+ - giorni	annuale	ECAD-EU, Beniston 2009	Esempi di impatti attesi dei quali l'indicatore può rappresentare un proxy	Salute, agricoltura

[13] European Environment Agency (EEA): Spatial distribution of extreme temperature indicators across Europe, 2019

Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC							
Acronimo, definizione indicatore climatico	**Variabili fondamentali**	**Unità di misura dell'indicatore**	**Unità di misura della variazione climatica (scenario)**	**Scala temporale**	**Reference**	**Pericolo climatico/Proxy**	**Settore**
WW: *Giorni caldi - piovosi* **-** Numero di giorni con temperatura media giornaliera maggiore del 75° percentile della temperatura media giornaliera e con precipitazione giornaliera maggiore del 75° percentile della precipitazione giornaliera.	T - Prec	giorni	+ - giorni	annuale			
HDDs: *Gradi giorni di riscaldamento* - Somma di 18°C meno la temperatura media giornaliera se la temperatura media giornaliera è minore di 15°C.	T	GG	GG o %	annuale	https://www.isprambiente.gov.it/files2018/pubblicazioni/rapporti/R_277_17_Allegati_RelazionidelsottogruppoHDD_CDD.pdf	Impatti sulla domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento	Energia
CDDs: *Gradi giorni di raffrescamento* - Somma della temperatura media giornaliera meno 21°C se la temperatura media giornaliera è maggiore di 24°C.	T	GG	GG o %	annuale			
PRCPTOT: Precipitazione cumulata nei giorni piovosi (mm) - Cumulata (somma) della precipitazione per i giorni con precipitazione	Prec	mm	%	stagionale/ annuale	ETCCDI	Dissesto geo-idrologico	NOTA: si è ritenuto opportuno non assegnare al dissesto geo-idrologico un settore a se stante. Esso

Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC							
Acronimo, definizione indicatore climatico	**Variabili fondamentali**	**Unità di misura dell'indicatore**	**Unità di misura della variazione climatica (scenario)**	**Scala temporale**	**Reference**	**Pericolo climatico/Proxy**	**Settore**
maggiore/uguale a 1 mm.							costituisce un pericolo che interessa la maggior parte dei settori, ognuno con diverso grado di esposizione.
R20: *Giorni di precipitazioni intense* - Numero di giorni con precipitazione superiore a 20 mm.	Prec	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI		
RX1DAY: Valore massimo della precipitazione giornaliera	Prec	mm	%	annuale	ETCCDI		
SDII: Indice di intensità di precipitazione giornaliera - Precipitazione media giornaliera nei giorni di precipitazione maggiore o uguale a 1mm.	Prec	mm	%	annuale	ETCCDI		
PR99prctile: 99° percentile della precipitazione giornaliera per i giorni con precipitazione maggiore/uguale a 1 mm.	Prec	mm	%	annuale	Kumar et al, 2020		
CDD: Giorni consecutivi secchi - Numero massimo di giorni consecutivi con precipitazione giornaliera minore a 1 mm.	Prec	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI	Siccità	Produzioni agricole, Risorse idriche ed Ecosistemi terrestri
SPI3: Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 3 mesi - Percentuale	Prec	-	%	annuale	McKee et al. (1993)	Siccità Tale indice fornisce indicazioni sugli impatti immediati, quali quelli relativi alla	

Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC							
Acronimo, definizione indicatore climatico	**Variabili fondamentali**	**Unità di misura dell'indicatore**	**Unità di misura della variazione climatica (scenario)**	**Scala temporale**	**Reference**	**Pericolo climatico/Proxy**	**Settore**
dell'occorrenza delle classi (severamente asciutto, estremamente asciutto) nell'indice SPI3 calcolato per un periodo di accumulo corto (3 mesi). nell'indice SPI3 calcolato per un periodo di accumulo corto (3 mesi).						riduzione di umidità del suolo, del manto nevoso e della portata nei piccoli torrenti.	
SPI6: Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 6 mesi - Percentuale dell'occorrenza delle classi (severamente asciutto, estremamente asciutto) nell'indice SPI6 calcolato per un periodo di accumulo medio (6 mesi).	Prec	-	%	annuale	McKee et al. (1993)	Siccità Tale indice fornisce indicazioni sulla riduzione delle portate fluviali e delle capacità negli invasi.	
SPI12 Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 12 mesi - Percentuale dell'occorrenza delle classi (severamente asciutto, estremamente asciutto) nell'indice SPI12 calcolato per un	Prec	-	%	annuale	McKee et al. (1993)	Siccità Tale indice fornisce indicazioni sulla riduzione delle portate fluviali e delle capacità negli invasi.	

Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC							
Acronimo, definizione indicatore climatico	**Variabili fondamentali**	**Unità di misura dell'indicatore**	**Unità di misura della variazione climatica (scenario)**	**Scala temporale**	**Reference**	**Pericolo climatico/Proxy**	**Settore**
periodo di accumulo medio (12 mesi).							
SPI24: Indice standardizzato di precipitazione per periodi di 24 mesi - Percentuale dell'occorrenza delle classi (severamente asciutto, estremamente asciutto) nell'indice SPI24 calcolato per un periodo di accumulo lungo (24 mesi).	Prec	-	%	annuale	McKee et al. (1993)	Siccità Tale indice fornisce indicazioni sulla ridotta ricarica degli invasi e sulla disponibilità di acqua nelle falde.	
PET: Evapotraspirazione Potenziale (con metodo Thornwaite)	Tmin, Tmax, Tmean	mm	%	annuale	Thornwaite (1948)	Siccità e desertificazione. Fornisce, nell'ambito della stima della risorsa idrica disponibile o potenziale, una valutazione della massima quantità di acqua che passerebbe in atmosfera, attraverso i processi di evaporazione e traspirazione, qualora la quantità di acqua nel terreno non costituisca un fattore limitante. L'evapotraspirazione potenziale è utilizzata per il calcolo di indici climatici come, ad esempio, l'"indice di aridità" (UNEP, United Nations Environment Programme) adottato	

Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC							
Acronimo, definizione indicatore climatico	**Variabili fondamentali**	**Unità di misura dell'indicatore**	**Unità di misura della variazione climatica (scenario)**	**Scala temporale**	**Reference**	**Pericolo climatico/Proxy**	**Settore**
						come indice ufficiale nell'ambito della Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta alla siccità e alla desertificazione, che sintetizza qualitativamente le caratteristiche climatiche del territorio. L'indice di aridità è definito come il rapporto tra la precipitazione annua e l'evapotraspirazione potenziale: Ia = P / Etp L'evapotraspirazione potenziale è alla base dei modelli per la stima dell'evapotraspirazione reale.	
CSDI: *Indice di durata dei periodi di freddo* - Numero totale di giorni in cui la temperatura minima giornaliera è inferiore al 10° percentile* della temperatura minima giornaliera per almeno 6 giorni consecutivi.	T	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI	Ondate di freddo	Salute, Energia
FD: *Giorni con gelo* - Numero di giorni con temperatura minima giornaliera inferiore a 0°C.	T	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI		
WSDI: Indice *di durata dei periodi di caldo* - Numero totale di giorni in	T	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI	Ondate di caldo	Salute, Energia

Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC							
Acronimo, definizione indicatore climatico	**Variabili fondamentali**	**Unità di misura dell'indicatore**	**Unità di misura della variazione climatica (scenario)**	**Scala temporale**	**Reference**	**Pericolo climatico/Proxy**	**Settore**
cui la temperatura massima giornaliera è superiore al 90° percentile* della temperatura massima giornaliera per almeno 6 giorni consecutivi.							
FWI: *Indice di pericolo incendio* (basato su velocità massima del vento, umidità relativa, precipitazione cumulata, temperatura). Tale indice prevede il calcolo di 5 sottoindici: tre sottoindici primari (FFMC, DMC, DC) che rappresentano l'umidità del combustibile; due sottoindici intermedi (ISI, BUI) che rappresentano il tasso di dispersione ed il consumo del combustibile disponibile.	T - Prec - UR - V	-	%	annuale	Van Wagner, 1987	Incendi	Foreste, Ecosistemi terrestri, Insediamenti
EWS: 98° percentile della velocità massima giornaliera del vento.	V	m/s	%	annuale/ stagionale	EEA, 2017	Tempeste di vento	Insediamenti, Foreste
SCD: *Durata del manto nevoso* - Numero di giorni nella stagione	Hn	giorni	+ - giorni	novembre-marzo	Durand et al.2009, Marcolini et al. 2017	Diminuzione/assenza di precipitazione nevosa	Turismo invernale

Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC							
Acronimo, definizione indicatore climatico	**Variabili fondamentali**	**Unità di misura dell'indicatore**	**Unità di misura della variazione climatica (scenario)**	**Scala temporale**	**Reference**	**Pericolo climatico/Proxy**	**Settore**
nivale (dal primo novembre di un dato anno al 31 marzo dell'anno successivo) con quantità di neve superficiale giornaliera superiore a 300 mm.							
Humidex5 (giorni): *Indice di disagio termico* - Misura del calore percepito che risulta dall'effetto combinato dell'umidità e della temperatura - Categoria 5: numero di giorni per anno nel quale l'indice humidex è maggiore di 45°C.	T - UR	giorni	+ - giorni	annuale	Masterson and Richardson 1979	Disagio termico	Salute
SU95p: *Giorni estivi* - Numeri di giorni con temperatura massima giornaliera maggiore di 29.2°C. Tale indicatore è stato definito per il territorio italiano (PNACC 2018).	T	giorni	+ - giorni	annuale	PNACC 2018	Disagio termico	Salute
TR (giorni): *Notti tropicali* - Numero di giorni con temperatura minima giornaliera superiore a 20°C.	T	giorni	+ - giorni	annuale	ETCCDI	Disagio termico	Salute
SST: Temperatura superficiale	T	°C	°C			Impatti sulle biocenosi	

Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC							
Acronimo, definizione indicatore climatico	**Variabili fondamentali**	**Unità di misura dell'indicatore**	**Unità di misura della variazione climatica (scenario)**	**Scala temporale**	**Reference**	**Pericolo climatico/Proxy**	**Settore**
dell'acqua							
SSH: Livello del mare	W	m	m				Ecosistemi marini, Turismo estivo, Infrastutture (porti)

Tabella 2-3 Indicatori di riferimento per il Quadro Climatico del PNACC (Fonte: PNACC – dicembre 2023)

2.3.2 Analisi del clima sul periodo di riferimento (1981-2010)

L'analisi del clima sul periodo di riferimento 1981-2010, come anticipato, è stata effettuata utilizzando il dataset osservativo grigliato E-OBS. Tale dataset fornisce dati giornalieri di precipitazione, temperatura e umidità su un grigliato regolare con risoluzione orizzontale di circa 12 km (0,1° x 0,1°) sull'intero territorio nazionale. Sebbene tale dataset sia largamente utilizzato per lo studio delle caratteristiche del clima e sia costantemente aggiornato e migliorato[14] sull'area europea, è importante sottolineare che esso presenta alcune limitazioni dovuta all'accuratezza dell'interpolazione dei dati, che, in particolare risulta ridotta al diminuire della densità del numero di stazioni, come accade nel territorio del sud Italia e in corrispondenza di aree ad orografia complessa. Tale dataset è stato selezionato in quanto è quello che attualmente rende disponibile il maggior numero di variabili osservate, spazializzate sull'intero territorio nazionale, tuttavia, anche in questo caso è stato possibile valutare solo 22 dei 25 indicatori climatici analizzati per la parte terra, selezionati per lo svolgimento dell'attuale lavoro (cfr. Tabella 2-3).

La Figura 2-9 riporta i valori medi stagionali della temperatura media e della precipitazione cumulata nel trentennio 1981-2010 nella penisola italiana.

Dall'osservazione di tale figura, si può affermare che, in termini di precipitazione totale, nella penisola italiana si registrano i valori più alti durante la stagione autunnale soprattutto in Liguria e Friuli-Venezia Giulia; le aree geografiche del Sud - Italia e le Isole, invece risultano, in particolare nella stagione estiva, le meno piovose.

In particolare, per quanto riguarda il Nord – Ovest Italia, in cui ricade l'area di interesse, si può osservare che la stagione più piovosa risulta essere quella autunnale.

[14] Descrizione delle migliorie apportate nella configurazione utilizzata nel presente documento rispetto alle versioni precedenti https://surfobs.climate.copernicus.eu/dataaccess/access_eobs.php

In termini di temperatura media i valori più bassi si registrano, nell'intera penisola, in tutte le stagioni lungo le catene montuose delle Alpi e degli Appennini. La forte differenza orografica è messa in perfetta luce nella stagione estiva dalla distribuzione dei valori della temperatura media.

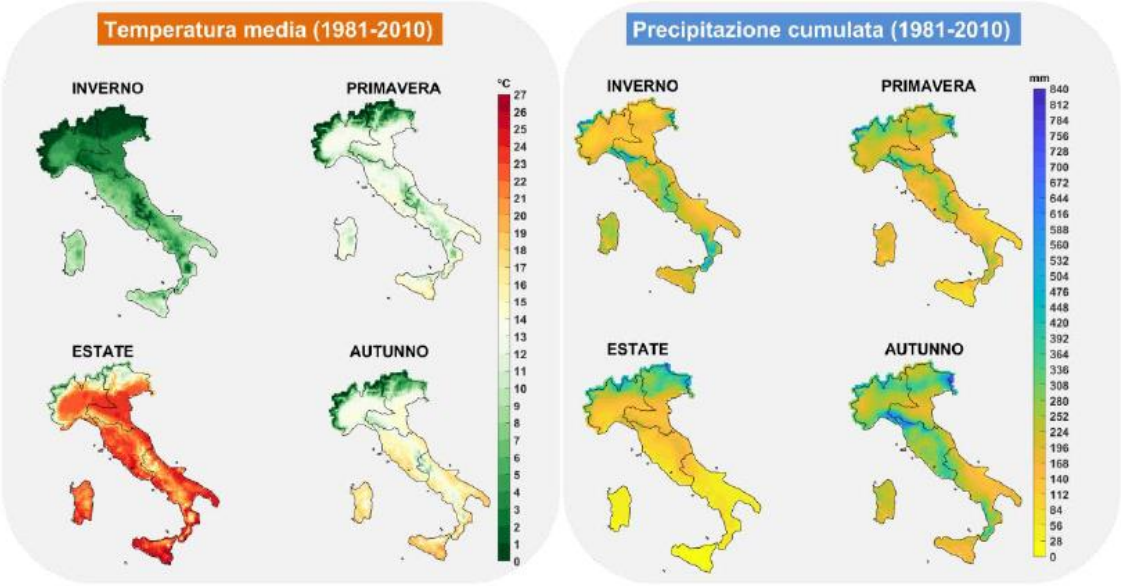

Figura 2-9 Valori medi stagionali delle temperature medie e delle precipitazioni cumulate su periodo di riferimento 1981-2010 a partire dal dataset grigliato E-OBS v25. (Fonte: PNACC – dicembre 2023)

Oltre a tali valori, sul periodo di riferimento (1981-2010) sono stati calcolati i valori medi annuali/stagionali di diversi indicatori climatici utili a comprendere l'evoluzione di specifici pericoli climatici. A tale scopo, in Figura 2-10 è riportata la distribuzione spaziale, relativamente al periodo di riferimento 1981-2010, per gli indicatori ritenuti più rilevanti anche in relazione alla loro rappresentatività dei pericoli climatici attesi. Per quanto riguarda gli indici di siccità, tali valori sono stati registrati massimi nelle aree a nord-ovest e tendono a diminuire muovendosi verso sud.

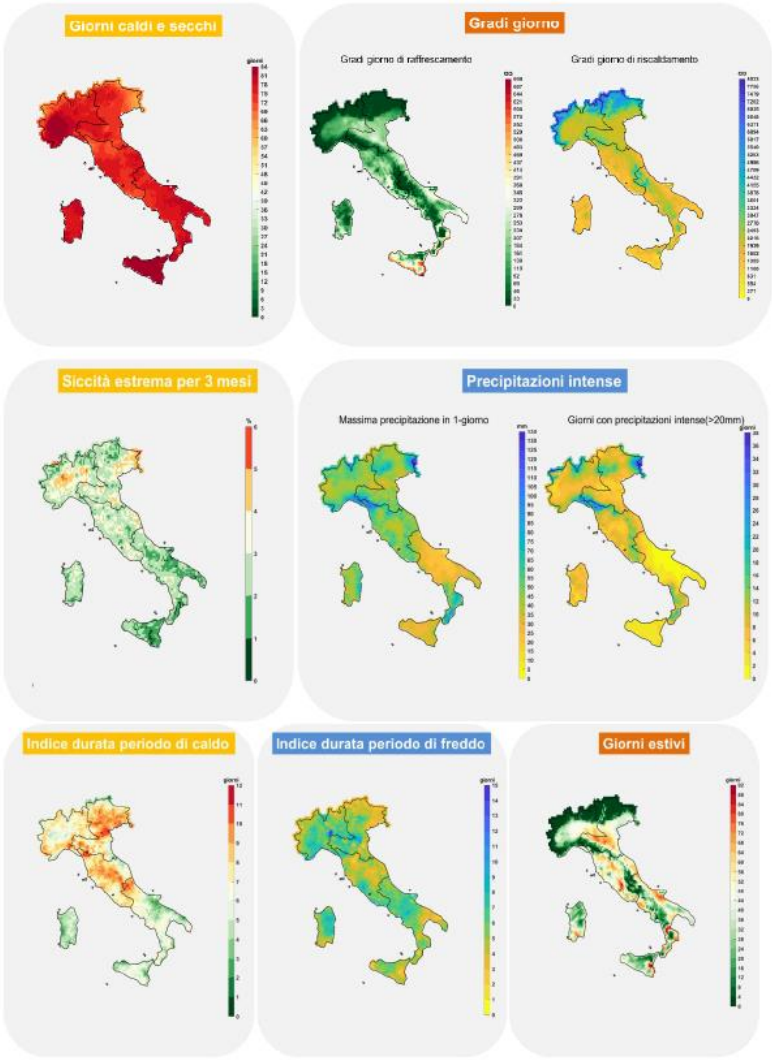

Figura 2-10 Mappe di alcuni degli indicatori climatici analizzati sul periodo di riferimento 1981-2010 a partire dal dataset grigliato E-OBS v25 (Fonte: PNACC – dicembre 2023)

Infine, in Figura 2-11 e Figura 2-12 sono riportati rispettivamente i valori medi annuali della temperatura media e della precipitazione cumulata e i valori stagionali degli indicatori calcolati (DJF: inverno; MAM: primavera; JJA: estate; SON: autunno), suddivisi per area geografica al fine di valutare i principali impatti di interesse. Inoltre, nelle colonne "+/-DS", è riportata la deviazione standard, come stima della variabilità spaziale degli indicatori selezionati all'interno dell'area geografica.

	Valori medi stagionali 1981-2010								
	DJF	±DS	MAM	±DS	JJA	±DS	SON	±DS	
Nord- Ovest	1,6	3,6	9,2	5,0	18,6	5,1	10,4	4,2	Temperatura media (°C)
	170	83	249	70	205	94	289	81	Precipitazione cumulata (mm)
Nord-Est	1,1	3,2	9,4	4,5	19,1	4,8	10,6	4,0	Temperatura media (°C)
	160	69	228	64	242	101	293	104	Precipitazione cumulata (mm)
Centro	6,3	2,0	12,4	1,9	22,1	1,9	14,8	2,1	Temperatura media (°C)
	247	75	217	61	118	41	314	87	Precipitazione cumulata (mm)
Sud	6,7	2,5	11,8	2,5	21,9	2,5	15,1	2,5	Temperatura media (°C)
	228	92	157	59	64	31	216	66	Precipitazione cumulata (mm)
Isole	9,2	1,5	13,4	1,8	23,1	1,9	17,3	1,7	Temperatura media (°C)
	216	36	129	46	23	11	194	33	Precipitazione cumulata (mm)

Figura 2-11 Valori medi stagionali per aree geografiche di temperatura media e precipitazione a partire dal dataset di osservazione E-OBS (versione 25) per il periodo 1981-2010; nella colonna +/-DS viene invece riportata, per ciascun valore stagionale, una stima della variabilità su scala areale (Fonte: PNACC – dicembre 2023)

Considerando l'area di interesse, ossia il Nord-Ovest Italia, la Figura 2-11 mette in luce che l'autunno è la stagione con accumuli precipitativi maggiori su tale area geografica. In generale, la deviazione standard invece mette bene in mostra la complessità orografica delle diverse aree.

	Nord-ovest		Nord-est		Centro		Sud		Isole	
	Valore medio	±DS	Valore medio	±DS	Valore medio	±DS	Valore medio	±DS	Valore medio	±DS
TG (°C)	10,0	4,5	10,1	4,1	13,9	2,0	13,9	2,5	15,8	1,7
WD (giorni)	77	5	73	4	74	2	77	2	80	2
WW (giorni)	55	20	52	16	52	10	62	12	62	7
HDDS (GG)	3180	1448	3171	1293	1934	535	1925	669	1384	390
CDDS (GG)	78	81	97	97	157	91	164	128	225	155
PRCPTOT (mm)	912	277	922	288	897	246	667	227	561	121
R20 (giorni)	10	5	11	6	10	5	5	4	5	2
RX1DAY(mm)	50	12	51	15	51	13	35	16	39	10
SDII(mm)	10	2	10	2	10	2	8	2	8	1
PR99PRCTILE(mm)	46	11	46	12	46	11	34	13	39	8
CDD(giorni)	35	7	33	4	37	8	50	11	81	12
SPI3 classe siccità severa (%)	5	1	5	1	5	1	4	1	4	1
SPI3 classe siccità estrema (%)	3	1	3	1	3	1	2	1	2	1
SPI6 classe siccità severa (%)	4	1	5	1	5	1	4	1	5	1
SPI6 classe siccità estrema (%)	2	1	2	1	3	1	2	1	2	1
SPI12 classe siccità severa (%)	5	1	4	1	4	1	3	2	5	2
SPI12 classe siccità estrema (%	2	1	2	1	3	1	2	1	2	1
SPI24 classe siccità severa (%)	6	2	4	2	4	1	3	2	4	2
SPI24 classe siccità estrema (%	2	2	2	2	3	2	1	1	1	1
PET(mm)	650	138	658	130	757	68	750	88	806	72
CSDI(giorni)	6	2	5	2	5	1	6	1	5	1
FD(giorni)	93	63	98	56	34	22	23	26	3	7
WSDI(giorni)	7	1	8	2	8	1	6	2	5	1
HUMIDEX(giorni)	4	6	7	9	13	9	9	9	6	8
SU95P(giorni)	23	21	28	24	43	18	37	21	34	17
TR(giorni)	8	8	9	12	9	11	24	21	36	19

Figura 2-12 Valori medi annuali per aree geografiche degli indicatori calcolati a partire dal dataset di osservazione E-OBS (versione 25) per il periodo 1981-2010; nella colonna +/-DS viene invece riportata una stima della variabilità su scala areale (tramite il calcolo della deviazione standard) (Fonte: PNACC – dicembre 2023)

La Figura 2-12 mostra come l'area del Nord-Ovest sia quella in cui i valori delle temperature medie (TG) sono minori rispetto al resto d'Italia. Ciò è in contrapposizione ai valori di precipitazione che seguono l'andamento opposto, infatti, la precipitazione cumulata nei giorni piovosi (PRCPTOT) risulta essere maggiore rispetto al resto d'Italia, ad eccezione del Nord-Est.

Per quanto riguarda gli impatti sulla domanda di energia per riscaldamento e raffrescamento, nel Nord-Ovest Italia i gradi giorno di riscaldamento (HDDs) risultano essere maggiori rispetto al resto d'Italia, mentre i gradi giorno di raffrescamento (CDDs) sono minori.

Le aree geografiche del Nord-Ovest hanno registrato un numero di giorni consecutivi secchi (CDD) minore in particolare rispetto al Sud e alle Isole, e di poco superiore al Nord-Est. Un altro indice correlato al pericolo climatico della siccità, oltre al CDD, è l'evapotraspirazione potenziale (PET), che risulta essere inferiore rispetto al resto della penisola italiana.

Per quanto riguarda il settore della salute umana, per il Nord-Ovest si può fare riferimento anche all'indice rappresentante i giorni di gelo (FD), ossia il numero di giorni con temperatura minima giornaliera inferiore a 0°C, che riguarda anche l'energia, e all'indicatore climatico (TR) che definisce le notti tropicali, ossia il numero di giorni con temperatura minima giornaliera superiore a 20°C. Il primo indice (FD) risulta essere il più alto tra le diverse macroaree, con l'eccezione del Nord-Est, mentre, il secondo indice (TR) è il più basso.

Inoltre, si può osservare come l'indicatore relativo all'indice di disagio termico (Humidex5), che misura il calore percepito risultante dall'effetto combinato di umidità e temperatura, e l'indicatore relativo al numero di giorni estivi con temperatura massima giornaliera maggiore di 29,2°C (SU95p), risultano essere minori nella macroarea di interesse rispetto al resto d'Italia. Questi ultimi due indicatori sono correlati al pericolo climatico del disagio termico e quindi interessano potenzialmente il settore della salute umana (cfr. Tabella 2-3).

2.3.3 Variazioni climatiche attese (2036-2065)

Di seguito vengono riportate le variazioni climatiche degli indicatori precedentemente identificati per il periodo futuro 2036-2065 (centrato sull'anno 2050), rispetto al periodo di riferimento 1981-2010.

Come già indicato, sono state utilizzate alcune delle simulazioni del programma EURO-CORDEX disponibili in C3S; in particolare per ogni scenario sono stati utilizzati 14 possibili simulazioni climatiche, in accordo con quanto attualmente disponibile sulla piattaforma Copernicus. Questo dataset, largamente utilizzato per la valutazione a scala regionale del cambiamento climatico in Europa (Jacob et al; 2020), include i dati di diversi modelli, frequenze temporali e periodi calcolati secondo il protocollo degli esperimenti CORDEX[15].

In generale, questi esperimenti consistono in simulazioni con modelli regionali che rappresentano diversi scenari socioeconomici futuri (Jacob et al., 2014[16]; Giorgi e Gutowski, 2015[17]). L'utilizzo di questo insieme di modelli climatici ha permesso di valutare non solo il valore medio (denominato "ensemble mean", media d'insieme, e ritenuto in letteratura il valore più affidabile), ottenuto a partire dai valori dei singoli modelli che rappresentano l'insieme ma anche la dispersione dei singoli modelli intorno a questo valore medio

[15] https://www.euro-cordex.net/060378/index.php.en
[16] Jacob, D.; Petersen, J.; Eggert, B.; Alias, A.; Christensen, O.B.; Bouwer, L.M.; Braun, A.; Colette, A.; Deque, M.; Georgievski, G.; et al. EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. Reg. Environ. Change. 2014, 14, 563–578, doi: 10.1007/s10113-013-0499-2
[17] Giorgi, F.; Gutowski, W.J. Regional dynamical downscaling and the CORDEX initiative. Annu. Rev. Environ. Resour. 2015, 40, 467–490, doi: 10.1146/annurev-environ-102014-021217

(incertezza). Conoscere tale dispersione è molto importante per una valutazione dell'accordo tra i modelli nella valutazione dell'indicatore e quindi stimarne l'incertezza che origina dal segnale climatico.

Nel seguito, la dispersione verrà quantificata attraverso il calcolo della deviazione standard: in altre parole, per ogni punto del dominio, quanto più è basso il valore di deviazione standard tanto più sarà elevato il grado di accordo tra i modelli climatici dell'insieme EURO-CORDEX, e viceversa (Von Trentini et al., 2019[18]). Per ciascun indicatore analizzato, dunque, sono state calcolate le variazioni medie attese in futuro, corredate dall'informazione relativa all'incertezza, per ciascuno scenario di emissione considerato.

In particolare, gli scenari IPCC considerati per l'analisi sono:

- RCP8.5 ("Business-as-usual") – crescita delle emissioni ai ritmi attuali. Assume, entro il 2100, concentrazioni atmosferiche di CO_2 triplicate o quadruplicate (840-1120 ppm) rispetto ai livelli preindustriali (280 ppm). Lo scenario RCP 8.5 risulta caratterizzato dal verificarsi di un consumo intensivo di combustibili fossili e dalla mancata adozione di qualsiasi politica di mitigazione con un conseguente innalzamento della temperatura globale pari a +4-5°C rispetto ai livelli preindustriali atteso per la fine del secolo;
- RCP4.5 ("Forte mitigazione") – assumono la messa in atto di alcune iniziative per controllare le emissioni. Sono considerati scenari di stabilizzazione: entro il 2070 le emissioni di CO_2 scendono al di sotto dei livelli attuali (400 ppm) e la concentrazione atmosferica si stabilizza, entro la fine del secolo, a circa il doppio dei livelli preindustriali. In RCP6.0, le emissioni di CO_2 continuano a crescere fino a circa il 2080; le concentrazioni impiegano più tempo a stabilizzarsi e sono circa il 25% superiori rispetto ai valori di RCP4.5;
- RCP2.6 ("Mitigazione aggressiva") – emissioni dimezzate entro il 2050. Assume strategie di mitigazione 'aggressive' per cui le emissioni di gas serra iniziano a diminuire dopo circa un decennio e si avvicinano allo zero più o meno in 60 anni a partire da oggi. Secondo questo scenario è improbabile che si superino i 2°C di aumento della temperatura media globale rispetto ai livelli preindustriali. L'incremento di temperatura coerente con questo scenario è di circa 3 gradi a fine secolo (rispetto ai livelli preindustriali, circa 2°C rispetto ad oggi).

Gli incrementi di temperatura sopra riportati ed associati agli scenari RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP8.5, rappresentano valori di aumento medio a livello mondiale, mentre a livello italiano sono previsti essere leggermente superiori, come si evince dalle elaborazioni proposte in Figura 2-13, che prendono come riferimento il periodo 1976-2005.

Per quanto attiene la temperatura media, entro il 2100 è attesa mediamente sull'area italiana una crescita con valori compresi tra 1° C, secondo lo scenario RCP2.6, e 5°C, secondo lo scenario RCP8.5.

Nella Figura 2-13, è stato utilizzato il test di Mann-Kendall (Kendall,1975)[19], con un livello di confidenza del 95% per valutare la significatività statistica del trend di crescita dell'anomalia di temperatura calcolata a partire dai modelli EURO-CORDEX. I trend risultano statisticamente significativi per tutti e tre gli scenari IPCC considerati, nella Figura 2-13 i trend statisticamente significativi sono individuati da un asterisco. Le anomalie

[18] Von Trentini, F., Leduc, M., and Ludwig, R.: Assessing natural variability in RCM signals: comparison of a multi-model EURO-CORDEX ensemble with a 50-member single model large ensemble, Climate Dynamics, doi: 10.1007/s00382- 019-04755-8, 2019
[19] Kendall, M.G. (1975) Rank Correlation Methods. 4th Edition, Charles Griffin, London

annuali sono calcolate rispetto al valore medio del periodo di riferimento 1976-2005. La linea spessa scura indica la proiezione climatica media (media d'insieme), calcolata mediando i valori annuali di tutte le simulazioni considerate per ogni scenario di concentrazione; le aree ombreggiate rappresentano il range ottenuto sommando e sottraendo alla media d'insieme la deviazione standard dei valori simulati dai modelli e forniscono una misurazione dell'incertezza delle proiezioni.

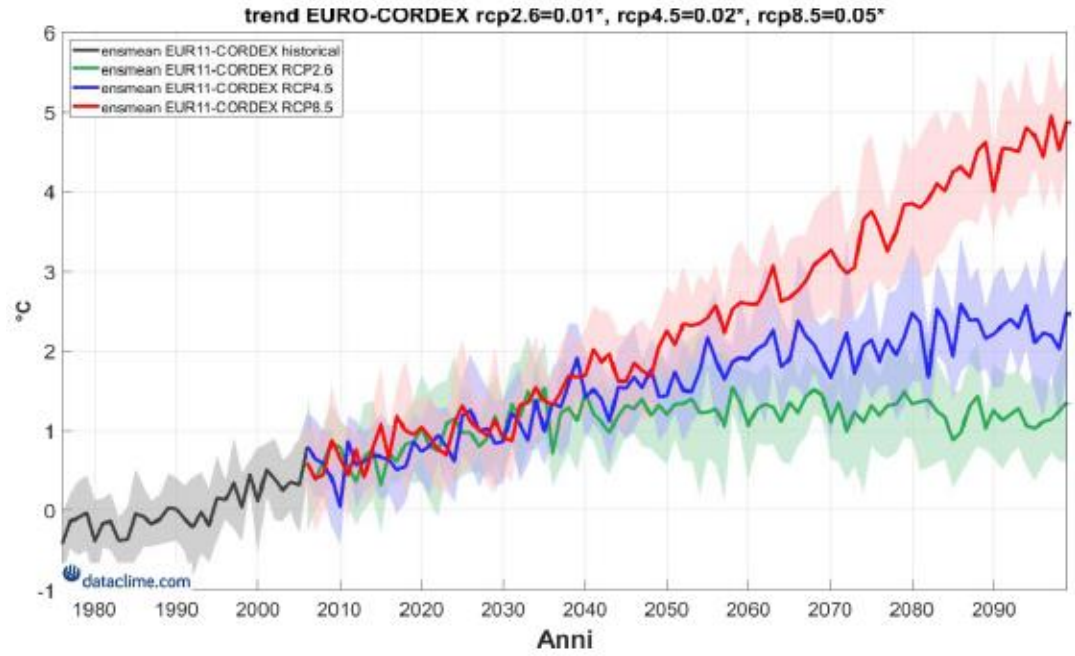

Figura 2-13 Anomalie annuali di temperatura media (°C) su scala nazionale ottenute a partire dai modelli EURO-CORDEX, considerando il periodo storico (in grigio) e gli scenari RCP8.5 (in rosso), RCP4.5 (in blu) e RCP2.6 (in verde). (Fonte: PNACC – dicembre 2023)

La Figura 2-14 riporta le variazioni annuali per la precipitazione totale e la temperatura media su scala annuale, insieme alla stima dell'incertezza. Tale analisi evidenzia un generale aumento delle temperature per tutti gli scenari considerati (RCP 2.6, RCP 4.5, RCP8.5), più pronunciato considerando lo scenario RCP 8.5, con incrementi superiori ai 2°C.

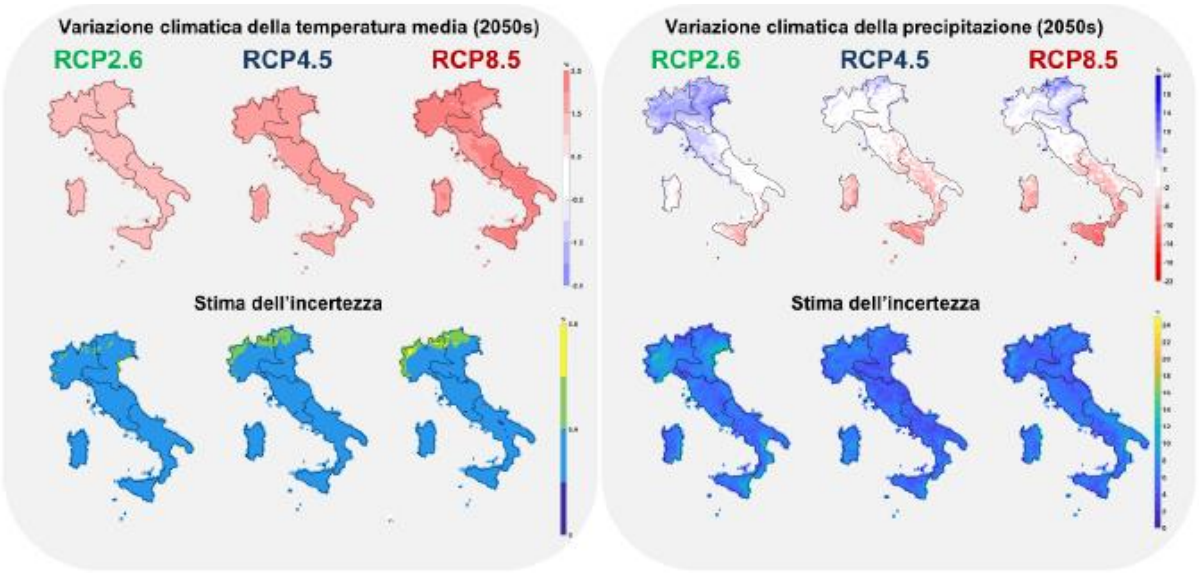

Figura 2-14 Variazioni climatiche annuali delle temperature medie e delle precipitazioni cumulate medie per il periodo 2036-2065 (2050s), rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP8.5. Valori espressi in termini di media e deviazione standard calcolati sull'insieme delle proiezioni dei modelli climatici regionali disponibili nell'ambito del programma euro-cordex (Fonte: PNACC – dicembre 2023)

Per quanto riguarda le precipitazioni, invece, le proiezioni indicano per il Nord-Ovest Italia, nello scenario RCP2.6, un aumento delle precipitazioni complessive annue, mentre negli altri due scenari la variazione climatica della precipitazione è circa pari a zero.

In generale, la stima delle variazioni di precipitazione, sia in senso spaziale che temporale, è più incerta di quella delle variazioni della temperatura essendo le precipitazioni già soggette a forti variazioni naturali (MATTM, SNACC, Rapporto sullo stato delle conoscenze, 2014). Come mostrato in Figura 2-14, si osserva infatti una maggiore dispersione (espressa in termini di deviazione standard) intorno ai valori medi per le variazioni di precipitazione rispetto a quelle di temperatura. Tali incertezze appaiono particolarmente pronunciate nel nord Italia, secondo lo scenario RCP 2.6.

In Figura 2-15 sono mostrate le variazioni di temperatura media e precipitazione cumulata (media d'insieme) per il periodo centrato su 2050 (2036-2065) rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, su scala stagionale (DJF: inverno; MAM: primavera; JJA: estate; SON: autunno) per le diverse macroaree. Nella seconda riga viene invece riportata una stima dell'incertezza (tramite il calcolo della deviazione standard) per la temperatura media e precipitazione cumulata riportate nella prima riga.

In generale, la stima delle variazioni di precipitazione, sia in senso spaziale che temporale, è più incerta di quella delle variazioni della temperatura essendo le precipitazioni già soggette a forti variazioni naturali (MATTM, SNACC, Rapporto sullo stato delle conoscenze, 2014). Come mostrato nelle seguenti figure, si osserva infatti una maggiore dispersione (espressa in termini di deviazione standard) intorno ai valori medi per le variazioni di precipitazione rispetto a quelle di temperatura.

Variazione della temperatura media (°C)

	RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5				
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	
Nord- Ovest	1,2	0,9	1,1	1,5	1,8	1,2	1,9	1,8	2,3	1,7	2,3	2,5	Variazione climatica (2050s)
	0,3	0,4	0,3	0,8	0,5	0,4	0,3	0,8	0,4	0,5	0,4	0,9	Stima dell'incertezza (2050s)
Nord-Est	1,2	0,9	1,1	1,4	1,7	1,2	1,9	1,7	2,2	1,7	2,2	2,4	Variazione climatica (2050s)
	0,3	0,4	0,3	0,7	0,4	0,4	0,3	0,7	0,3	0,5	0,4	0,8	Stima dell'incertezza (2050s)
Centro	1,0	0,9	1,2	1,3	1,5	1,1	2,0	1,7	1,9	1,5	2,3	2,3	Variazione climatica (2050s)
	0,3	0,4	0,4	0,7	0,3	0,4	0,3	0,7	0,3	0,4	0,3	0,8	Stima dell'incertezza (2050s)
Sud	1,0	0,9	1,3	1,3	1,5	1,1	2,0	1,6	1,8	1,6	2,3	2,2	Variazione climatica (2050s)
	0,4	0,4	0,4	0,7	0,4	0,4	0,3	0,6	0,3	0,4	0,3	0,7	Stima dell'incertezza (2050s)
Isole	1,0	0,9	1,2	1,3	1,3	1,1	1,9	1,6	1,7	1,6	2,2	2,2	Variazione climatica (2050s)
	0,3	0,3	0,4	0,7	0,3	0,3	0,3	0,6	0,3	0,4	0,3	0,7	Stima dell'incertezza (2050s)

Variazione della precipitazione cumulata (%)

	RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5				
	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	DJF	MAM	JJA	SON	
Nord- Ovest	12,3	3,2	5,9	5,1	14,3	-0,3	-4,8	-2,3	2,5	3,3	-0,9	2,4	Variazione climatica (2050s)
	15	5	7	13	10	4	8	11	12	10	11	9	Stima dell'incertezza (2050s)
Nord-Est	12	4	6	5	10	1	-6	2	5	3	0	6	Variazione climatica (2050s)
	16	5	9	11	8	4	11	10	9	7	12	12	Stima dell'incertezza (2050s)
Centro	9	-1	3	3	5	-2	-14	1	0	-3	-6	4	Variazione climatica (2050s)
	13	4	12	11	7	4	13	10	7	6	12	15	Stima dell'incertezza (2050s)
Sud	3	-2	0	1	0	-3	-15	2	-2	-5	-12	1	Variazione climatica (2050s)
	9	7	16	12	6	5	14	10	9	7	13	9	Stima dell'incertezza (2050s)
Isole	3	-6	7	-1	-2	-7	-14	-3	-7	-8	-13	-2	Variazione climatica (2050s)
	8	7	25	11	5	8	14	9	7	7	16	10	Stima dell'incertezza (2050s)

Figura 2-15 Variazioni di temperatura media e della precipitazione cumulata (media d'insieme) per il periodo centrato su 2050 (2036-2065) rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, su scala stagionale (Fonte: PNACC – dicembre 2023)

In Figura 2-16 sono riportati a titolo esemplificativo alcune delle mappe più rilevanti, in termini di variazione attesa, per gli indicatori considerati.

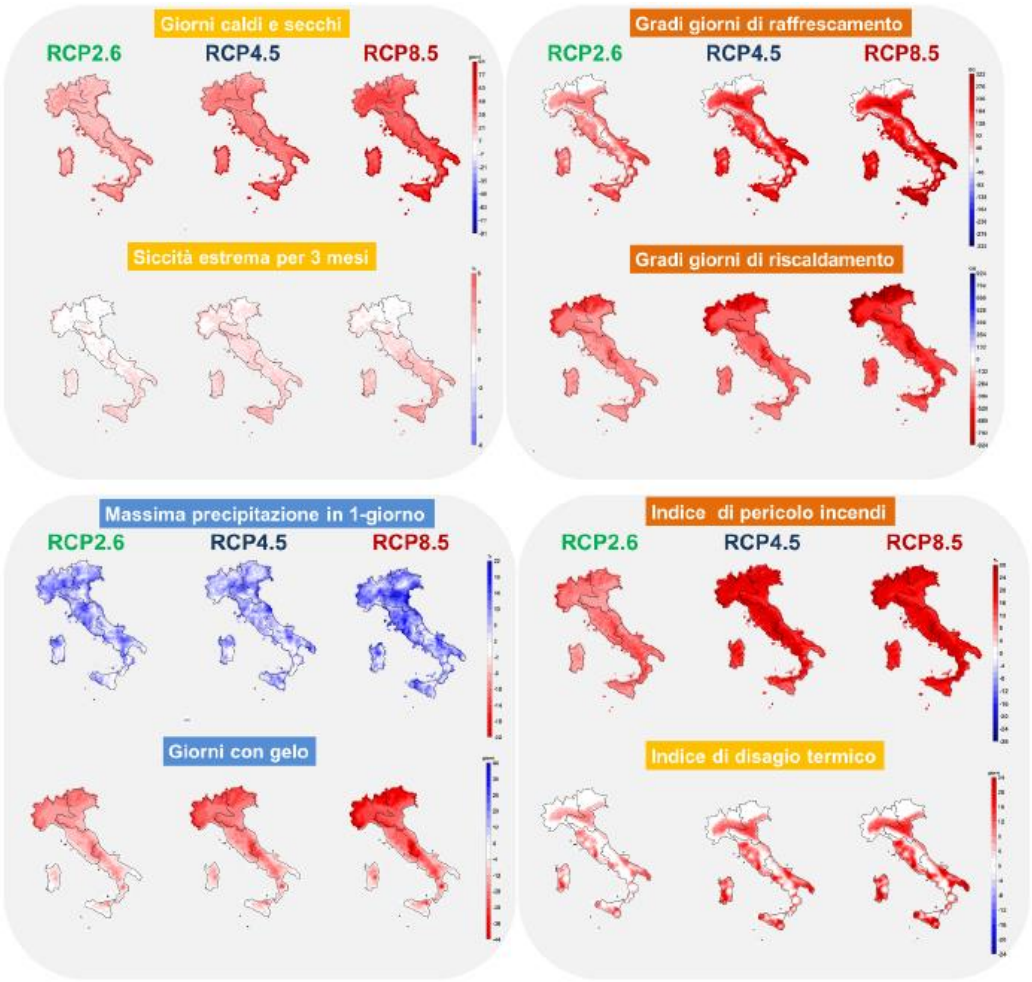

Figura 2-16 Variazioni climatiche annuali (media d'insieme) per alcuni degli indicatori climatici analizzati per il periodo 2036-2065 (2050s), rispetto al periodo di riferimento 1981-2010, per gli scenari RCP 2.6, RCP 4.5 e RCP8.5 (Fonte: PNACC – dicembre 2023)

In particolare, la Figura 2-17 mostra in maniera sintetica le variazioni attese (valori medi e stima delle incertezze) per l'area geografica di interesse per il progetto in esame, ossia il Nord-Ovest Italia, per tutti gli indicatori selezionati che sono stati utilizzati per dare informazione sui pericoli climatici di interesse.

Nella seconda colonna di ogni tabella viene riportata una stima dell'incertezza (tramite il calcolo della deviazione standard) per gli indicatori riportati nella prima colonna. I colori della tabella sono da interpretarsi in modo qualitativo: colori più intensi indicano variazioni maggiori mentre colori tenui indicano variazioni di intensità minore.

	Nord-ovest					
	RCP2.6	±SD RCP2.6	RCP4.5	±SD RCP4.5	RCP8.5	±SD RCP8.5
TG (°C)	1,2	0,3	1,7	0,3	2,2	0,3
WD (giorni)	20	9	30	13	39	15
WW (giorni)	15	5	20	4	25	4
HDDS (GG)	-349	73	-474	87	-627	90
CDDS (GG)	44	29	76	37	95	50
PRCPTOT (%)	6	6	1	5	2	4
R20 (giorni)	1	1	0	1	1	1
RX1DAY(%)	8	5	6	4	9	4
SDII(%)	5	4	4	2	5	2
PR99PRCTILE(%)	7	4	6	3	9	4
CDD(giorni)	0	1	0	2	-1	1
SPI3 classe siccità severa (%)	0	1	0	1	0	1
SPI3 classe siccità estrema (%)	1	1	1	1	1	1
SPI6 classe siccità severa (%)	0	1	0	1	0	1
SPI6 classe siccità estrema (%)	1	1	1	2	1	2
SPI12 classe siccità severa (%)	-1	2	0	2	0	1
SPI12 classe siccità estrema (%	1	2	1	2	1	2
SPI24 classe siccità severa (%)	-1	2	0	2	-1	2
SPI24 classe siccità estrema (%	1	2	1	3	1	2
PET (%)	6	1	9	2	11	2
CSDI(giorni)	-3	2	-4	1	-5	1
FD(giorni)	-16	4	-22	4	-28	5
WSDI(giorni)	19	10	29	12	41	14
HUMIDEX(giorni)	2	2	3	3	4	3
SU95P(giorni)	6	4	10	4	13	6
TR(giorni)	6	4	10	5	13	6
SCD(giorni)	-2	1	-2	1	-4	2
EWS(%)	0	1	0	1	0	1
FWI(%)	9	7	18	4	20	4

Figura 2-17 Variazioni climatiche (media d'insieme) annuali per l'area geografica del Nord-Ovest Italia, considerando tutti gli indicatori climatici, per il periodo 2036-2065 (2050s), rispetto al periodo di riferimento 1981-2010 per gli scenari RCP2.6, RCP4.5 e RCP8.5. (Fonte: PNACC – dicembre 2023)

Dall'osservazione della Figura 2-16 e della Figura 2-17, per quanto riguarda gli impatti sulla domanda energetica, si evince una riduzione dei gradi giorno di riscaldamento (HDDs) e un generale aumento dei gradi giorno di raffrescamento (CDDs). Tali variazioni, più marcate considerando lo scenario RCP8.5, potrebbero comportare una ridotta esigenza di energia necessaria per il riscaldamento degli ambienti e un incremento della richiesta di energia per il loro raffrescamento, in particolare nella stagione estiva. Tale trend è influenzato anche dall'aumento della frequenza e dell'intensità delle ondate di caldo, rappresentate dall'indice WSDI.

Si osserva anche una riduzione dei fenomeni di ondata di freddo (indici CSDI e FD) e una riduzione della durata del manto nevoso (SCD), in misura maggiore nello scenario RCP 8.5. Per lo stesso scenario è inoltre atteso un aumento del pericolo incendi (FWI), pari al 20%.

Per quanto riguarda il dissesto geo-idrologico, sono state valutate diverse caratteristiche delle precipitazioni intense e dalle analisi si evince un incremento dell'intensità degli eventi di precipitazione (RX1DAY e PR99prctile). Questo aspetto denota un potenziale aumento del pericolo per fenomeni di frane meteo-indotte e fenomeni di alluvioni che tuttavia necessita di essere studiato con maggior dettaglio locale grazie a modelli di impatto accoppiati con modelli di pericolo.

Per quanto attiene il fenomeno della siccità, esso è stato valutato mediante l'indice SPI (McKee et al. 1993[20]) considerando diverse finestre temporali per i cumuli di precipitazione (3 mesi, 6 mesi, 9 mesi, 12 mesi e 24 mesi). Tale indice, a seconda dell'arco temporale considerato, può fornire indicazioni su impatti immediati, medio e lungo termine. Nella tabella sono state considerate le sole due classi di siccità severa ed estrema (in termini di variazione dell'occorrenza rispetto al periodo climatologico), che, sulla durata di 3-6 mesi hanno impatti prevalentemente agronomici, mentre sulla durata 12-24 mesi hanno impatti di tipo prevalentemente idrologico e socioeconomico. Per tutte le scale temporali considerate, è da attendersi un leggero incremento del numero di episodi di siccità estrema, pari all'1%. Un altro indice correlato alla siccità è l'indice rappresentante l'evapotraspirazione potenziale (PET), per i quali si osserva un aumento, in particolare nello scenario RCP 8.5, per cui è pari all'11%.

Inoltre, in tutti e tre gli scenari, ma in particolare nell'RCP 8.5, è possibile osservare un aumento della temperatura media (TG) e un aumento del pericolo climatico del disagio termico, correlato agli indicatori climatici: Humidex5, che misura il calore percepito in funzione dell'effetto combinato dell'umidità e della temperatura, SU95p e TR che rappresentano rispettivamente il numero di giorni estivi e il numero di notti tropicali.

Come appena osservato, le variazioni climatiche previste risultano maggiori per lo scenario RCP 8.5, pertanto, per le successive analisi saranno cautelativamente considerati i pericoli climatici correlati alle variazioni climatiche previste da tale scenario per l'area interessata dal progetto in esame, il Nord-Ovest Italia.

[20] McKee, Thomas B., Nolan J. Doesken, and John Kleist. "The relationship of drought frequency and duration to time scales." Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology. Vol. 17. No. 22. 1993

2.3.4 Sintesi degli Hazards e valutazione della probabilità

Identificazione degli hazards

Come espresso nella parte metodologica una volta definito lo scenario evolutivo occorre definire gli Hazards rispetto ai quali poter valutare vulnerabilità e successivamente il rischio.

Al fine di potersi riferire ad una nomenclatura comune si è considerato quanto individuato dalla Tassonomia Europea e nello specifico quanto definito dalle procedure per "non arrecare un danno significativo". Tale metodologia, in relazione ai cambiamenti climatici prevede la definizione di alcuni hazards specifici, suddivisi in "Cronici" ed "Acuti".

Detti Hazards sono inoltre suddivisi in 4 macrocategorie:

- temperatura,
- venti,
- acque,
- massa solida.

<table>
<tr><th colspan="4">CRONICI</th></tr>
<tr><th>Temperatura</th><th>Venti</th><th>Acque</th><th>Massa solida</th></tr>
<tr><td>Cambiamento della temperatura (aria, acque dolci, acque marine)</td><td rowspan="7">Cambiamento del regime dei venti</td><td>Cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)</td><td>Erosione costiera</td></tr>
<tr><td>Stress termico</td><td>Variabilità idrologica o delle precipitazioni</td><td>Degradazione del suolo</td></tr>
<tr><td>Variabilità della temperatura</td><td>Acidificazione degli oceani</td><td>Erosione del suolo</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Scongelamento del permafrost</td><td>Intrusione salina</td><td rowspan="3">Soliflusso</td></tr>
<tr><td>Innalzamento del livello del mare</td></tr>
<tr><td>Stress idrico</td></tr>
</table>

Tabella 2-4 Hazards Climatici Cronici

ACUTI			
Temperatura	**Venti**	**Acque**	**Massa solida**
Ondata di calore	Ciclone, uragano, tifone	Siccità	Valanga

ACUTI			
Temperatura	**Venti**	**Acque**	**Massa solida**
Ondata freddo / gelata	Tempesta (comprese quelle di neve, polvere o sabbia)	Forti precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Frana
Incendio di incolto	Tromba d'aria	Inondazione (costiera, fluviale, pluviale, di falda)	Subsidenza
		Collasso di laghi glaciali	

Tabella 2-5 Hazards Climatici Acuti

Partendo da tale suddivisione, la sintesi dell'analisi sugli *hazards* climatici che potranno interessare la porzione territoriale all'interno della quale si sviluppa il progetto oggetto di studio, è riportata nei capitoli successivi.

Analisi della probabilità di accadimento di Hazards Cronici e Acuti nel contesto territoriale di interesse

Secondo gli scenari delineati in precedenza nel presente documento, il contesto territoriale di riferimento al progetto in esame è esposto a diverse anomalie climatiche.

Dall'incrocio delle seguenti anomalie è possibile avere una previsione di massima rispetto alle anomalie climatiche, gli hazards climatici cronici e/o acuti, di cui al paragrafo precedente.

La sintesi proposta in tabella prende in considerazione la probabilità di esposizione:

- ad un aumento delle ondate di caldo e del disagio termico, e una riduzione delle ondate di freddo e della durata del manto nevoso, correlate ad un aumento della temperatura media,
- ad un aumento del pericolo di incendi, legato all'incremento del numero di episodi di siccità;
- ad un aumento dell'intensità degli eventi di precipitazione estremi, e conseguente potenziale aumento di fenomeni di alluvioni.

Il risultato dato da questo incrocio è proposto attraverso una differente campitura delle caselle in Tabella 2-7.

Secondo tre livelli di probabilità, come da definizione riportata nel paragrafo 2.1, relativo alla metodologia di analisi, si propone una lettura per colori che al valore alto associa il colore rosso, al valore basso il verde e al valore medio il giallo.

Alto
Medio
Basso

Tabella 2-6 Livelli di valutazione della probabilità

	Temperatura	Venti	Acque	Massa solida
CRONICI	Cambiamento della temperatura (aria, acque dolci, acque marine)	Cambiamento del regime dei venti	Cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Erosione costiera
	Stress termico		Variabilità idrologica o delle precipitazioni	Degradazione del suolo
	Variabilità della temperatura		Acidificazione degli oceani	Erosione del suolo
	Scongelamento del permafrost		Intrusione salina	Soliflusso
			Innalzamento del livello del mare	
			Stress idrico	
ACUTI	Ondata di calore	Ciclone, uragano, tifone	Siccità	Valanga
	Ondata freddo / gelata	Tempesta (comprese quelle di neve, polvere o sabbia)	Forti precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Frana
	Incendio di incolto	Tromba d'aria	Inondazione (costiera, fluviale, pluviale, di falda)	Subsidenza
			Collasso di laghi glaciali	

Tabella 2-7 Incrocio delle anomalie e sintesi degli hazards climatici cronici e acuti

2.4 Identificazione delle possibili vulnerabilità del contesto territoriale e dell'opera di interesse

I diversi modelli climatici, assieme agli studi condotti dall'IPCC, sono concordi nel valutare un aumento della temperatura terrestre fino al 2° C nel periodo futuro 2036-2065, centrato sul 2050, rispetto al periodo di riferimento 1981 - 2010.

Tra i principali risultati evidenziati dalle analisi delle proiezioni climatiche future (cfr. paragrafo 2.3.3) vi è un aumento delle ondate di caldo e una riduzione delle ondate di freddo, legato all'aumento della temperatura media, e un aumento dell'intensità e della frequenza degli eventi di precipitazione estremi.

Tenuto conto dei possibili scenari di cambiamento climatico e considerando le differenti vulnerabilità a cui l'opera di progetto può essere esposta, si esemplificano di seguito le fragilità a cui essa potrebbe essere esposta a seconda del verificarsi di eventi calamitosi indotti dal cambiamento climatico (cfr. Tabella 2-7):

- aumento delle ondate di calore, correlato all'aumento delle temperature medie, può causare:
  - potenziali impatti sulla salute umana;
  - aumento dei consumi energetici dovuti soprattutto alle diverse azioni necessarie per il controllo della temperatura e dell'umidità all'interno del data center, necessari per garantire il corretto e sicuro funzionamento dei server;
  - accelerazione del processo di corrosione delle barre in acciaio presenti all'interno delle strutture, minandone l'azione di resistenza e riducendo la sicurezza degli edifici stessi;
  - le sedi stradali, o le parti asfaltate, possono essere sottoposte a cicli di surriscaldamento tali da degradarne le caratteristiche tecniche e funzionali, e in termini di deformazione, con conseguenze sulla durata delle stesse;
  - in particolare, per gli impianti fotovoltaici può comportare la variazione del rendimento degli impianti e dei pannelli fotovoltaici a causa del surriscaldamento dei moduli fotovoltaici, infatti, all'aumentare della temperatura di funzionamento del modulo si registra un calo dell'efficienza correlato al coefficiente di temperatura dei pannelli;
- cambiamento del regime di venti e aumento dei valori estremi della ventosità e loro frequenza:
  - nello specifico per gli impianti fotovoltaici, la possibilità del manifestarsi di tali fenomeni potrebbe comportare problemi alla stabilità dinamica della struttura. Infatti, eventuali raffiche di vento potrebbero provocare fenomeni di instabilità dinamica, causata da particolari oscillazioni generate da meccanismi di risonanza che potrebbero crearsi e danneggiare i moduli stessi;
- aumento del numero di episodi di siccità e del pericolo di incendi:
  - la propagazione di incendi può causare disagi alle opere, in presenza di eventi particolarmente severi, danni alle opere stesse a causa del calore sprigionato dall'incendio, oltre a una riduzione/perdita dell'operatività dell'opera stessa;
  - la minore disponibilità della risorsa idrica all'interno dei suoli può avere un impatto sulle opere stesse in quanto può causare cedimenti differenziali del suolo;
- aumento degli eventi estremi di precipitazione, che può comportare:
  - una riduzione o una perdita delle proprietà meccaniche del suolo; infatti, l'azione dell'acqua piovana può causare l'erosione idrica del suolo, ossia la perdita dello strato superficiale del suolo, e quindi eventuali cedimenti differenziali, che a loro volta possono comportare danni

strutturali all'opera stessa. Si possono perciò danneggiare i collegamenti e le opere interrate. In particolare, per la vegetazione presente, l'erosione idrica del suolo può comportare una riduzione o perdita della capacità produttiva del terreno, in quanto lo strato più superficiale del terreno è quello maggiormente ricco in sostanza organica e la sua perdita può portare alla diminuzione della fertilità del terreno;

- un maggiore rischio di alluvioni può comportare allagamenti delle sedi stradali e/o il loro danneggiamento a causa della riduzione della capacità di drenaggio dei sistemi esistenti, e conseguenti ripercussioni sull'operatività dell'opera stessa.

La panoramica qui sopra evidenzia l'ampia variabilità dei potenziali impatti dei cambiamenti climatici sull'opera di progetto, che potrebbero influenzare una gamma molto diversificata di operazioni, nonché le loro elevate specificità locali. Pertanto, le azioni volte a migliorare la capacità di adattamento (ovvero comprendere i problemi, valutare i problemi, selezionare e attuare misure di adattamento, comunicazione e coinvolgimento degli stakeholder) necessitano di un approccio locale.

Rispetto alle anomalie climatiche analizzate e sintetizzate nel precedente paragrafo, si definiscono di seguito le probabili vulnerabilità climatiche a cui il contesto territoriale e il progetto in esame essere esposte. In tal senso si propone un'analisi incrociata tra anomalie climatiche a cui l'area potrà essere esposta in maniera elevata (rosso) e media (arancione) e impatti potenziali relativi alle variazioni: (i) di temperature; (ii) di ventosità; (iii) di acque; (iv) di degrado del suolo. Tali valutazioni sono state svolte per delineare in fase successiva, una più coerente analisi del rischio.

2.4.1 Temperature

In considerazione del Data Center e di tutte le opere ad esso connesse previste dal progetto in esame, di seguito si descrivono le vulnerabilità di tali opere rispetto agli hazards climatici relativi alla temperatura a cui potrebbero essere esposte.

Fenomeni quali cambiamento e variabilità della temperatura e ondate di calore possono avere effetti sui consumi energetici soprattutto a causa delle diverse azioni necessarie per il controllo della temperatura e dell'umidità all'interno del data center, atte a garantire l'efficiente e sicuro funzionamento dei server.
Infatti, se all'interno del data center la temperatura e l'umidità raggiungessero livelli eccessivi, potrebbe iniziare a formarsi la condensa, con conseguenti problemi alle macchine all'interno e quindi interruzioni delle attività. In generale, la temperatura consigliata per i data center è compresa tra 21 e 24 °C.

Inoltre, i fenomeni correlati all'aumento delle temperature possono causare un'accelerazione del processo di corrosione delle barre in acciaio presenti all'interno delle strutture e in generale un'accelerazione del processo di deterioramento dei materiali delle componenti esterne delle opere.
Ciò influenzerebbe l'azione di resistenza dei materiali e l'attività degli impianti esterni, ridurrebbe la sicurezza degli edifici e richiederebbe quindi interventi manutentivi più importanti o ravvicinati.

Per quanto riguarda le superfici asfaltate, a causa dell'aumento della temperatura possono essere sottoposte a cicli di surriscaldamento che possono modificarne le caratteristiche funzionali e determinarne quindi un degrado accelerato nel tempo, che richiederebbe interventi manutentivi più importanti o ravvicinati.

Inoltre, la presenza di tali superfici accentua il surriscaldamento della superficie stessa e dell'ambiente circostante, come evidenziato dagli studi legati all'isola di calore urbana.

In particolare, per quanto riguarda gli impianti fotovoltaici, l'aumento delle temperature può comportare la variazione del rendimento dei pannelli fotovoltaici a causa del surriscaldamento dei moduli fotovoltaici. Infatti, all'aumentare della temperatura di funzionamento del modulo si può registrare un calo dell'efficienza, correlato al coefficiente termico di massima potenza dei pannelli.

In considerazione delle caratteristiche del progetto in esame e del contesto territoriale in cui si inserisce, le vulnerabilità del progetto ai diversi hazards climatici relativi alla temperatura sono riportate nella tabella seguente.

Temperatura	
Hazard climatico	**Vulnerabilità dell'opera**
Cambiamento della temperatura (aria, acque dolci, acque marine)	Aumento consumi energetici. Calo dell'efficienza dei pannelli fotovoltaici. Maggiore manutenzione delle aree verdi.
Stress termico	Effetti sui conglomerati bituminosi e cementizi e sulle strutture metalliche; maggiori ammaloramenti e minore durabilità delle pavimentazioni e delle strutture. Calo dell'efficienza dei pannelli fotovoltaici. Maggiore manutenzione delle aree verdi. Potenziali impatti sulla salute umana
Variabilità della temperatura	Aumento consumi energetici. Calo dell'efficienza dei pannelli fotovoltaici. Maggiore manutenzione delle aree verdi.
Ondata di calore	Effetti sui conglomerati bituminosi e cementizi e sulle strutture metalliche; maggiori ammaloramenti e minore durabilità delle pavimentazioni e delle strutture. Calo dell'efficienza dei pannelli fotovoltaici. Potenziali impatti sulla salute umana.
Incendio di incolto	Disagi e danni all'opera a causa del calore elevato

Tabella 2-8 Valutazione della vulnerabilità dell'opera agli hazards climatici

2.4.2 Venti

In considerazione del Data Center e di tutte le opere ad esso connesse previste dal progetto in esame, di seguito si descrivono le vulnerabilità di tali opere rispetto agli hazards climatici relativi ai venti a cui potrebbero essere esposte.

Forti raffiche di vento potrebbero comportare problemi alla stabilità dinamica dei pannelli fotovoltaici installati sugli edifici, causati da particolari oscillazioni generate da meccanismi di risonanza che potrebbero crearsi e danneggiare i moduli stessi.

Inoltre, in presenza di venti particolarmente forti si possono registrare danni strutturali alle componenti dell'opera in seguito all'impatto diretto con detriti trasportati dal vento o alla pressione esercitata dallo stesso.

A valle delle analisi effettuate, in considerazione del contesto territoriale e delle caratteristiche del progetto, le vulnerabilità rispetto agli hazards climatici relativi ai venti sono mostrate nella seguente tabella.

Venti	
Hazard climatico	**Vulnerabilità dell'opera**
Cambiamento del regime dei venti	Possibili problemi alla stabilità dinamica dei pannelli fotovoltaici. Danni e/o difetti dei rivestimenti esterni degli edifici.
Tempesta (comprese quelle di neve, polvere o sabbia)	
Tromba d'aria	

Tabella 2-9 Valutazione della vulnerabilità agli hazards relativi ai venti

2.4.3 Acque

Nel presente paragrafo si descrivono le vulnerabilità dell'opera di progetto rispetto agli hazards climatici relativi alle acque.

L'aumento degli eventi di precipitazione estremi influenza la capacità dei sistemi di raccolta e di drenaggio delle acque meteoriche. La riduzione dell'efficienza di tali sistemi può avere conseguenze in termini di allagamenti delle superfici impermeabili e ciò può creare disagi all'operatività dell'opera di progetto e alle opere ad essa associate.

Gli impatti principali che si potrebbero manifestare sono:

- il danneggiamento delle superfici asfaltate per allagamento o erosione dovuto allo scorrimento delle acque (in particolare l'erosione accentua danni o imperfezioni preesistenti);
- problemi per quanto riguarda il drenaggio e la gestione delle acque pluviali raccolte su ampie superfici impermeabilizzate; la rimessa in funzione degli stessi sistemi richiede inoltre interventi straordinari di manutenzione e pulizia dei residui lasciati dall'allagamento.

Un altro rischio correlato agli eventi piovosi è la riduzione o perdita delle proprietà meccaniche del suolo a causa della degradazione e dell'erosione del suolo e conseguenti cedimenti differenziali del terreno, perciò danni strutturali all'opera stessa.
Quest'ultimo aspetto viene approfondito nel sotto paragrafo successivo relativo alla "massa solida".

In particolare, per gli impianti fotovoltaici, l'acqua piovana intercettata dai pannelli può causare problemi derivanti dall'eventuale infiltrazione e dalla conseguente condensa, che potrebbero comportare la riduzione

della produzione del modulo e con il tempo portare alla corrosione dei circuiti metallici; tuttavia, ciò può avvenire soprattutto in caso di installazioni errate o materiali scadenti dei pannelli stessi.

In relazione al fenomeno della siccità si evidenzia che la minore disponibilità della risorsa idrica nel terreno può avere un impatto sull'opera stessa, in quanto può causare cedimenti differenziali del suolo.

A seguito delle analisi condotte, la vulnerabilità del progetto in esame è mostrata in Tabella 2-10.

Acque	
Hazard climatico	**Vulnerabilità dell'opera**
Cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Possibile riduzione delle capacità meccaniche del suolo, possibili allagamenti, malfunzionamenti dei sistemi di drenaggio delle acque e danni in caso di alluvione
Variabilità idrologica o delle precipitazioni	
Stress idrico	Possibile riduzione delle capacità meccaniche del suolo. Maggiore manutenzione delle aree verdi.
Siccità	
Forti precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Possibile riduzione delle capacità meccaniche del suolo, possibili allagamenti, malfunzionamenti dei sistemi di drenaggio delle acque e danni in caso di alluvione. Danni e/o difetti dei rivestimenti esterni degli edifici

Tabella 2-10 Vulnerabilità legata agli Hazard relativi alle acque

2.4.4 Massa solida

Di seguito si descrivono le vulnerabilità del Data Center e delle opere ad esso correlate previste dal progetto in esame rispetto agli hazards climatici relativi alla massa solida.

Le variazioni climatiche relative alla categoria massa solida influiscono sulle proprietà meccaniche del terreno, con conseguenti cedimenti del terreno che potrebbero causare danni all'opera stessa.
Tali fenomeni possono causare danni ai collegamenti interrati (tubazioni, corrugati in pvc per cavi elettrici, ecc.) e alle opere interrate (vasche di prima pioggia, disoleatori, vasche di irrigazione, ecc.).

A valle delle analisi effettuate, in considerazione del contesto territoriale e delle caratteristiche del progetto, le vulnerabilità rispetto agli hazards climatici considerati sono mostrate nella seguente tabella.

Massa solida	
Hazard climatico	**Vulnerabilità dell'opera**
Degradazione del suolo	Riduzione o perdita delle proprietà meccaniche del suolo e conseguenti cedimenti e danni strutturali

Massa solida	
Hazard climatico	**Vulnerabilità dell'opera**
Erosione del suolo	dell'opera ed eventuali perdite e/o sversamenti. Riduzione della qualità dei suoli per la vegetazione presente

Tabella 2-11 Vulnerabilità legata agli Hazards relativi alla Massa Solida

2.5 Valutazione del Rischio

Di seguito si propone la valutazione dei possibili rischi a cui il contesto territoriale che ingloba l'opera di interesse potrebbe essere esposta. L'analisi propone una lettura degli *hazards* climatici *vs* vulnerabilità per l'individuazione di quattro gradi di rischio ai quali vengono associati quattro colori rispettivi.

Molto elevato
Elevato
Intermedio
Basso

Tabella 2-12 Livelli di rischio

2.5.1 Temperature

Dall'incrocio tra *hazards* climatici e vulnerabilità si evidenziano dei rischi che vanno da basso a intermedio in relazione agli hazard climatici per la temperatura, come mostrato nella seguente tabella.

In particolare, maggiormente critici risultano i fenomeni correlati allo stress termico e all'ondata di calore, in quanto possono soprattutto comportare un aumento dei consumi di energia elettrica necessario per il mantenimento di temperatura e umidità negli ambienti interni in cui sono presenti i server.

Temperatura	
Hazard climatico	**Rischio dell'opera**
Cambiamento della temperatura (aria, acque dolci, acque marine)	Basso
Stress termico	Intermedio
Variabilità della temperatura	Basso
Ondata di calore	Intermedio
Incendio di incolto	Basso

Tabella 2-13 Individuazione del grado di rischio in relazione agli Hazard delle temperature

2.5.2 Venti

In merito ai rischi correlati agli Hazards relativi ai venti, la situazione maggiormente rischiosa è correlata alla tempesta in quanto potrà verificarsi con una probabilità maggiormente elevata e rispetto ad essa l'opera è maggiormente vulnerabile, in quanto unisce criticità relative agli aspetti ventosi ed alle precipitazioni (cfr. Tabella 2-14).

Venti	
Hazard climatico	**Rischio dell'opera**
Cambiamento del regime dei venti	Basso
Tempesta (comprese quelle di neve, polvere o sabbia)	Intermedio
Tromba d'aria	Basso

Tabella 2-14 Individuazione del grado di rischio degli Hazards relativi ai venti

2.5.3 Acque

I rischi correlati agli hazards climatici relativi alle acque, in considerazione del contesto territoriale in cui si inserisce l'opera e della tipologia dell'opera in esame, variano da bassi a intermedi.

In particolare, i rischi legati al cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni, alla variabilità idrogeologica e alle forti precipitazioni risultano essere intermedi, in considerazione sia della probabilità di accadimento sia della vulnerabilità dell'opera stessa (cfr. Tabella 2-15).

Acque	
Hazard climatico	**Rischio dell'opera**
Cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Intermedio
Variabilità idrologica o delle precipitazioni	
Stress idrico	Basso
Siccità	Basso
Forti precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Intermedio

Tabella 2-15 Individuazione del grado di rischio degli Hazards relativi alle acque

2.5.4 Massa solida

In merito ai rischi correlati alla massa solida, in considerazione anche del contesto territoriale in cui si inserisce l'opera e della tipologia dell'opera in esame, i rischi risultano essere bassi, come mostrato nella seguente tabella.

Massa solida	
Hazard climatico	**Rischio dell'opera**
Degradazione del suolo	Basso
Erosione del suolo	Basso

Tabella 2-16 Individuazione del grado di rischio degli Hazards per massa solida

2.6 Sintesi dell'incrocio probabilità – vulnerabilità - rischio e strategie progettuali

Alla luce delle analisi effettuate si riporta un quadro di sintesi della probabilità di accadimenti di eventi calamitosi derivanti dagli hazard climatici e dalle vulnerabilità del progetto in esame con conseguente rischio di esposizione.

Temperatura		
Hazard climatico	**Vulnerabilità dell'opera**	**Rischio dell'opera**
Cambiamento della temperatura (aria, acque dolci, acque marine)	Aumento consumi energetici. Calo dell'efficienza dei pannelli fotovoltaici. Maggiore manutenzione delle aree verdi.	Basso
Stress termico	Effetti sui conglomerati bituminosi e cementizi e sulle strutture metalliche; maggiori ammaloramenti e minore durabilità delle pavimentazioni e delle strutture. Calo dell'efficienza dei pannelli fotovoltaici. Maggiore manutenzione delle aree verdi. Potenziali impatti sulla salute umana	Intermedio
Variabilità della temperatura	Aumento consumi energetici. Calo dell'efficienza dei pannelli fotovoltaici. Maggiore manutenzione delle aree verdi.	Basso
Ondata di calore	Effetti sui conglomerati bituminosi e cementizi e sulle strutture metalliche; maggiori ammaloramenti e minore durabilità delle pavimentazioni e	Intermedio

Temperatura		
Hazard climatico	**Vulnerabilità dell'opera**	**Rischio dell'opera**
Cambiamento della temperatura (aria, acque dolci, acque marine)	Aumento consumi energetici. Calo dell'efficienza dei pannelli fotovoltaici. Maggiore manutenzione delle aree verdi.	Basso
	delle strutture. Calo dell'efficienza dei pannelli fotovoltaici. Potenziali impatti sulla salute umana.	
Incendio di incolto	Disagi e danni all'opera a causa del calore elevato	Basso

Tabella 2-17 Quadro di sintesi – Temperatura

Venti		
Hazard climatico	**Vulnerabilità dell'opera**	**Rischio dell'opera**
Cambiamento del regime dei venti	Possibili problemi alla stabilità dinamica dei pannelli fotovoltaici. Danni e/o difetti dei rivestimenti esterni degli edifici.	Basso
Tempesta (comprese quelle di neve, polvere o sabbia)		Intermedio
Tromba d'aria		Basso

Tabella 2-18 Quadro di sintesi – Venti

Acque		
Hazard climatico	**Vulnerabilità dell'opera**	**Rischio dell'opera**
Cambiamento del regime e del tipo di precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Possibile riduzione delle capacità meccaniche del suolo, possibili allagamenti, malfunzionamenti dei sistemi di drenaggio delle acque e danni in caso di alluvione	Intermedio
Variabilità idrologica o delle precipitazioni		
Stress idrico	Possibile riduzione delle capacità meccaniche del suolo. Maggiore manutenzione delle aree verdi.	Basso
Siccità		Basso
Forti precipitazioni (pioggia, grandine, neve/ghiaccio)	Possibile riduzione delle capacità meccaniche del suolo, possibili	Intermedio

Acque		
Hazard climatico	**Vulnerabilità dell'opera**	**Rischio dell'opera**
	allagamenti, malfunzionamenti dei sistemi di drenaggio delle acque e danni in caso di alluvione. Danni e/o difetti dei rivestimenti esterni degli edifici	

Tabella 2-19 Quadro di sintesi – Acque

Massa solida		
Hazard climatico	**Vulnerabilità dell'opera**	**Rischio dell'opera**
Degradazione del suolo	Riduzione o perdita delle proprietà meccaniche del suolo e conseguenti cedimenti e danni strutturali dell'opera ed eventuali perdite e/o sversamenti. Riduzione della qualità dei suoli per la vegetazione	Basso
Erosione del suolo		Basso

Tabella 2-20 Quadro di sintesi – Massa solida

Con richiamo alla strategia progettuale adottata, le scelte di progetto sono state volte alla massimizzazione della resilienza dell'opera.

Secondo quanto riportato nel presente allegato, in considerazione dell'ambito territoriale e delle caratteristiche dell'opera stessa, l'opera in esame ha un **rischio medio-basso** ai cambiamenti climatici.

Questo è possibile grazie agli accorgimenti progettuali previsti allo scopo di un miglior adattamento dell'opera in esame ai cambiamenti climatici.

Infatti, con l'obiettivo di ridurre le emissioni dei gas serra, l'energia elettrica necessaria per il funzionamento di tutti i data center di progetto è previsto l'utilizzo di fonti energetiche rinnovabili, sia attraverso l'approvvigionamento dell'energia elettrica tramite contratti con fornitori che garantiscano l'energia verde, sia attraverso l'installazione di impianti fotovoltaici per coprire una parte del fabbisogno energetico degli edifici.
L'applicazione di tali impianti fotovoltaici è stata effettuata mantenendo il piano dei moduli complanare alla superficie, in modo da non alterare la sagoma dell'edificio e non aumentare l'azione del vento sui moduli stessi. Inoltre, allo scopo di limitare le perdite causate dalla temperatura, è stata favorita la circolazione d'aria tra la parte posteriore dei moduli e la superficie dell'edificio.

Un accorgimento progettuale che riguarda la categoria temperatura e i consumi energetici ad essa correlati, sono gli involucri degli edifici, realizzati con pannelli prefabbricati a taglio termico. Ciò rappresenta una soluzione all'avanguardia dal punto di vista dell'isolamento termico che prevede pannelli con bassissimo valore di trasmittanza, che a sua volta assicura un risparmio dal punto di vista energetico.

Sempre in relazione alla struttura degli edifici, sin dalla costruzione dell'edificio DC09 è stato implementato l'utilizzo di calcestruzzo a basso contenuto di carbonio (calcestruzzo low carbon "ECO CAM", per la costruzione delle fondamenta). In particolare, per l'edificio DC08.2, tale tipologia di calcestruzzo è stata utilizzata per la costruzione delle fondamenta, delle lastre alveolari e delle solette ad anima cava. Anche per il DC08.1 e tutti gli edifici del Lotto C (Mensa), verrà utilizzato per la costruzione di fondamenta, lastre alveolari e solette ad anima cava.
Inoltre, l'edificio DC01, nel 2017, ha ottenuto la certificazione LEED Gold. Il LEED è un programma di certificazione volontario che promuove un approccio orientato alla sostenibilità, riconoscendo le prestazioni degli edifici in settori chiave, quali il risparmio energetico ed idrico, la riduzione delle emissioni di CO_2, il miglioramento della qualità ecologica degli interni, i materiali e le risorse impiegati, il progetto e la scelta del sito. Sviluppato dalla U.S. Green Building Council (USGBC), il sistema si basa sull'attribuzione di 'crediti' per ciascun requisito.

Allo scopo di prevenire eventuali rischi di contaminazione, le piazzole di rifornimento per il gasolio dei generatori di emergenza sono realizzate in modo da essere impermeabili, in quanto sono costituite da una soletta armata in cemento con additivo impermeabilizzante. In aggiunta a ciò, nella zona di scarico sono sempre presenti disoleatori, che hanno lo scopo di separare gli oli, idrocarburi, grassi e altri residui.
Sempre in relazione ai generatori, i tubi di adduzione del suddetto gasolio sono realizzati in doppia camicia.

La compatibilità idraulica dello scarico delle acque meteoriche nel Fontanile Malandrone sarà garantita da studi di invarianza idraulica, prevedendo vasche di laminazione adeguatamente dimensionate in relazione alla totalità delle opere inserite nel comparto produttivo denominato "Castelletto". Oltre alle vasche di laminazione, sono presenti nel campus delle vasche di irrigazione, che utilizzano le acque provenienti dalle prime ai fini dell'alimentazione del circuito di irrigazione.

Per quanto concerne gli impianti di climatizzazione, la maggior parte degli edifici sono dotati del sistema di condizionamento "free cooling" indiretto, funzionante per larga parte dell'anno, che consente un imponente risparmio energetico, poiché sfrutta poca energia elettrica nel processo di raffreddamento dell'aria, oltre ad essere più compatibile dal punto di vista ambientale rispetto agli impianti di condizionamento classico.

Per quanto riguarda eventuali sversamenti di glicole, utilizzato per il funzionamento del sistema di climatizzazione di alcuni degli edifici, se dovessero verificarsi, sarebbero presenti appositi serbatoi per lo smaltimento separato come rifiuto (Codice CER 160114).